Aus dem Institut für Biomechanik der
Deutschen Sporthochschule Köln
Prof. Dr. med H. Groh

Zur Geschichte der Untersuchung des Ganges des Menschen

von Aristoteles (um 300 v. Chr.) bis Basler (1931)

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät der
Universität des Saarlandes

vorgelegt von

Marianne Groh

geb. 3. 11. 1938 in Kassel

1969

Dekan: Prof. Dr. med. H. Witter

Referent: Prof. Dr. med. H. Groh

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41542713_0030

Aus dem Institut für Biomechanik der
Deutschen Sporthochschule Köln
Prof. Dr. med. H. Groh

Zur Geschichte der Untersuchung des Ganges des Menschen

von Aristoteles (um 300 v. Chr.) bis Basler (1931)

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät der
Universität des Saarlandes

vorgelegt von

Marianne Groh

geb. 3. 11. 1938 in Kassel

Dekan: Prof. Dr. med. H. Witter

Referent: Prof. Dr. med. H. Groh

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Die mündliche Promotionsprüfung wurde am 3. Juli 1969 abgelegt.

I N H A L T S A N G A B E

E i n l e i t u n g

A u t o r e n i n c h r o n o l o g i s c h e r R e i h e n f o l g e :

um 300 v.Chr.	ARISTOTELES
2. Jahrh.n.Chr.	GALEN
1618	FABRICIUS
1658	GASSENDI
1679	BORELLI
1762	HALLER
1798	BARTHEZ
1821	ROULIN
1822	CHABRIER
1825	MAGENDIE
1833	GERDY
1833	POISSON
1836	WEBER
1853-1881	von MEYER
1857	HARLESS
1858	GIRAUD-TEULON
1867	DUCHENNE
1872	CARLET
1872-1885	MUYBRIDGE
1881	VIERORDT
1894	MAREY
1894 u.1895	RICHER
1895-1904	(BRAUNE u.) FISCHER
1897	LEITENSTORFER
1900 u.1909	DU BOIS-REYMOND
1901	FUCHS
1901-1906	JENDRASSIK
1905	DEMENY
1910	LOWETT u. REYNOLDS
1929-1931	BASLER

D i s k u s s i o n

Z u s a m m e n f a s s u n g

B i o g r a p h i s c h e H i n w e i s e

L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s

E i n l e i t u n g

Der Gang des Menschen erscheint uns - da alltäglich - als einfacher Bewegungsvorgang. Die Aufdeckung der physikalischen Vorgänge erweist sich im Gegensatz dazu als außerordentlich schwierig. Das Auflösungsvermögen des Auges genügt offensichtlich zur Analyse der menschlichen Körperbewegung nicht. Es wurden zahlreiche Methoden entwickelt, um den Bewegungsablauf, der dem menschlichen Auge entgeht, zu analysieren. In der vorliegenden Arbeit werden die Untersuchungen über den Gang des Menschen von ARISTOTELES (um 3oo v.Chr.) bis zu BASLER (1931) dargestellt. Bis etwa um 1930 beschränkten sich die Untersucher auf Messungen mit Uhr, Meßband und Fotobild. Obwohl die Gebrüder LUMIERE (1895) in Paris die Kinematographie entwickelt hatten, wurde erst in den 20-iger Jahren die Filmkamera für die Untersuchung der menschlichen Körperbewegung gebraucht. Damit beginnt ein neuer Abschnitt in der Geschichte der Untersuchung des menschlichen Ganges.

Wir sind bei der Darstellung so vorgegangen, daß wir die Autoren in chronologischer Reihenfolge nennen. Dabei werden die Untersuchungen aufgegliedert in Zahl der Versuchspersonen - Meßgerät und Meßmethode - Meßergebnisse. In der Diskussion erfolgt eine zusammenfassende Beurteilung.

Es werden in unserer Darstellung folgende Begriffe benutzt:
S c h r i t t d a u e r : Zeit des Aufsetzens eines Beines bis zum Aufsetzen des anderen Beines (Einzelschritt).

S c h r i t t l ä n g e : Abstand zwischen dem Aufsetzen des einen Beines und dem Aufsetzen des anderen Beines.

D o p p e l s c h r i t t : 2 Einzelschritte.

S t ü t z p h a s e : Zeitdauer, in der ein Bein den Boden berührt.

D o p p e l s t ü t z p h a s e : Zeit, in der beide Beine gleichzeitig den Boden berühren.

S c h w u n g p h a s e : Zeit, in der das Bein schwingt.

F l u g p h a s e : Zeit, in der beide Beine den Boden verlassen haben.

Autoren in chronologischer Reihenfolge

ARISTOTELES

De motu et de incessu animalium (um 300 v.Chr.)

ARISTOTELES stellt sich vor, daß alles sich Bewegende etwas Unbewegliches als Ursprung hat. Aber das Unbewegliche im Körper könnte keine Bewegung bewirken, wenn es nicht außerhalb des Körpers etwas absolut Ruhendes gäbe, das Widerstand leisten würde (Boden, Luft, Wasser). Als den Ursprung der Bewegung sieht ARISTOTELES die Seele an, und diese soll ihren Sitz in der Mitte des Körpers, im Herzen haben. Die Körper werden bewegt durch Verstand, Vorstellung, Vorsatz, Appetit, also durch Wunsch und Wille. Außerdem lösen Temperaturänderungen in der Herzgegend Bewegungen aus und zwar bewirken sie eine Veränderung der Sehnen und diese stoßen die Knochen.
Die Funktionen der Bewegung sind Stoßen und Ziehen. Das Organ der Bewegung muß fähig sein, sich auszudehnen und sich zusammenzuziehen. Diese Eigenschaften schreibt ARISTOTELES dem Geist zu. Ein Lebewesen, das springt, springt dabei gegen die eigenen oberen Körperteile und gegen das, was unter seinen Füßen ist. Deshalb springen Athleten weiter, wenn sie ein Gewicht in der Hand halten, als wenn sie keins haben, und Läufer laufen schneller, wenn sie ihre Arme schwingen.
Die rechte Körperhälfte gibt den Anstoß zur Bewegung. Dadurch wird die linke Körperhälfte bewegt. Die Menschen fangen deshalb mit dem linken Bein an zu gehen.

Das Bein, das unter dem Gewicht ist, muß eine Art Senkrechte zum Untergrund bilden. Wenn nun ein Bein vorwärts bewegt wird, wird es die Hypotenuse von einem rechtwinkligen Dreieck, dessen Katheten das andere Bein und der Boden sind. Das senkrecht stehende Bein muß also gebeugt sein.
Der Kopf beschreibt eine Zickzacklinie. Das erkennt man, wenn man einen Mann beobachtet, der im Sonnenlicht neben einer Mauer hergeht, und den Schatten seines Kopfes betrachtet.
Beim Gehen bewegen sich der Arm und das Bein der gleichen Seite in entgegengesetzter Richtung.
Kinder können nicht aufrecht gehen, weil ihr Körper länger ist als ihre Beine. Beim Erwachsenen ist es umgekehrt.

G A L E N

De usu partium (2.Jahrh.n.Chr.)
(zitiert nach GERDY,P.N.: Physiologie médicale didactique et critique - 1833 -)

GALEN beschreibt die Mehrzahl der Muskeln und ihre wichtigsten Funktionen. Über die Entstehung der Bewegung sagt er: Der Wille bestimmt über die Nerven die Bewegung der Muskeln. Diese erzeugen die Bewegung der Knochen. Auf Grund seiner Struktur kann sich der lebendige Muskel zusammenziehen. Wenn der Nerv, der den Muskel versorgt durchschnitten ist, erschlafft der Muskel. Die bequemste Stellung ist die halbe Beugung der Gelenke. Über das Gehen sagt er: Bei der Bewegung des Beines während des Ganges sind die Beugemuskeln in stärkerem Maße beteiligt als die Strecker. Das tragende Bein trägt während des Gehens mehr als das Doppelte des Gewichts, das es im Stehen trägt

F A B R I C I U S, Hieronymus ab Aquapendente

De motu locali animalium (1618)

Ähnlich wie ARISTOTELES sagt FABRICIUS, daß die Bewegung vom Geist ausgeht. Der Geist hat seinen Sitz im Herzen und die Bewegung wird über die Aorta an die Muskeln und Knochen weitergegeben. Die Bewegung beim Gehen wird nach oben, nach unten, nach vorn, nach hinten, nach rechts und nach links ausgeführt. Außerdem finden zusammengesetzte runde Bewegungen statt, die FABRICIUS als "Bewegungen im 7. Raum" bezeichnet. Wenn das Bein sich nach vorne bewegt, sind die Beuger tätig und wenn es sich aufstellt, sind die Strecker tätig. Beuger und Strecker wechseln sich beim Gehen miteinander ab und dadurch ermüden sie nicht so schnell.

G A S S E N D I, Petrus

De vi motrice et motionibus animalium (1658)

Das Gehen ist erst möglich durch den Gegendruck der Erde, der der Stemmkraft des Beines entgegenwirkt. Die Beine des Gehenden bilden mit dem Boden ein rechtwinkliges Dreieck. Dabei ist das vorgestreckte Bein die Hypotenuse. Der aufsetzende Fuß haftet nicht am Boden, sondern berührt ihn immer mit einer anderen Stelle ähnlich wie eine Kugel, die über eine Ebene rollt.
Das Wichtigste über das Gehen fasst GASSENDI in 10 Sätzen zusammen:

1. Die geradlinig erscheinende Bewegung des Gehens ist eine aus mehreren Kreisbögen zusammengesetzte Bewegung.
2. Der Fuß ist nötig zum Tragen. Außerdem vergrößert er den Schritt um seine ganze Länge.
3. Das Stemmen gegen die Erde beim Gehen geht ununterbrochen fort. Wenn der eine Fuß aufhört, beginnt der andere, und wenn der eine Fuß aufsetzt, hebt sich der andere.
4. Nur der stemmende Fuß trägt den Rumpf fort. Der andere wird von ihm fortgetragen.
5. Die Fortbewegung des Rumpfes geht ununterbrochen fort, weil in dem Augenblick, in dem das eine Bein zu stemmen aufhört, das andere beginnt.
6. Die Fortbewegung des Rumpfes ist etwas wellenförmig und zwar sowohl nach aufwärts und abwärts, als auch nach rechts und links.
7. Die Bewegung des Fußes durch die Luft ist zweimal so schnell wie die Fortbewegung des Rumpfes.
8. Die Arme bewegen sich beim Gehen vorwärts, aber nie rückwärts, sondern stehen bloß still und lassen den Körper an sich vorübergehen. Der rechte Arm bewegt sich immer mit dem linken Bein zugleich vorwärts.
9. Wenn jemand rückwärts gehen will, muß er mit den Zehen zu stemmen anfangen.
10. Beim Aufwärtsgehen muß man hauptsächlich mit dem vorderen Teil des Fußes stemmen, den Rumpf vorwärts neigen und die Knie beugen. Beim Abwärtsgehen muß man hauptsächlich mit den Hacken stemmen, den Rumpf rückwärts neigen und das Knie beugen.

B O R E L L I, Alfonso

De motu animalium (1679)

B e w e g u n g s a b l a u f b e i m G e h e n:
In der Doppelstützphase wird der Schwerpunkt des Körpers durch das Stemmen des hinteren Beines fortbewegt, da es sich durch die Streckung des Fußes verlängert. Dies geschieht so lange, bis der Körper etwas weiter als senkrecht über dem Vorderbein liegt. Dann wird der hintere Fuß durch die Beugung des Fuß=, Knie= und Hüftgelenkes vom Boden abgehoben. Die erhaltene Geschwindigkeit und die Vorneigung des Kopfes und der Brust bewegen den hinteren Fuß über den ruhenden Fuß hinaus. Dann setzt er auf dem Boden auf. Es beginnt wieder eine Doppelstützphase. Der Fuß, der jetzt hinten ist, beginnt wieder mit dem Stemmen.
BORELLI hat durch eine einfache Versuchsanordnung die S e i t w ä r t s b e w e g u n g d e s R u m p f e s beim Gehen bewiesen. Er stellte zwei Stangen in der Gangrichtung auf und beobachtete, daß man die hintere Stange abwechselnd links und rechts von der vorderen sieht, wenn man auf die beiden Stangen zugeht.
B e s t i m m u n g d e s K ö r p e r s c h w e r p u n k t e s:
BORELLI legte einen Leichnam auf ein Brett und schob es auf eine scharfe Kante. Er rückte es dann so lange, bis es sich im Gleichgewicht befand (Abbildung 1). Der Körperschwerpunkt der Leiche lag dann senkrecht über dieser Kante. BORELLI konnte damit aussagen, daß der Körperschwerpunkt zwischen den

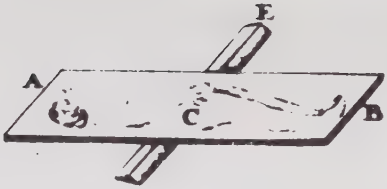


Abb. 1

Bestimmung des Körperschwerpunktes (BORELLI).

Hinterbacken und den Geschlechtsteilen ("Inter nates et pubim") liegt. Er hatte also die Transversalebene des Körperschwerpunktes bestimmt.
BORELLI sagt, daß die Schwerelinie des menschlichen Körpers beim Stehen nicht außerhalb der Sohle eines aufgesetzten Fußes oder außerhalb des von den beiden Fußsohlen eingeschlossenen Viereckes fallen darf, sonst kann das Umfallen des Körpers auch durch Muskelanstrengung nicht verhindert werden. BORELLI kannte das Gesetz der Mechanik, daß der Schwerpunkt zweier Massen ihre Verbindungslinie im umgekehrten Verhältnis ihrer Massen teilt.

H A L L E R, Alberto von

Elementa physiologiae (1762)

B e w e g u n g s a b l a u f b e i m G e h e n :
Während der eine Fuß unbeweglich bleibt, wird der andere Fuß gehoben, dann beugt sich der Unterschenkel und dann der Oberschenkel. Dadurch wird das Bein verkürzt und das Knie kommt nach vorne. Wenn das Bein senkrecht über dem Ort ist, an dem es aufsetzen soll, wird es im Kniegelenk gestreckt. Beim Aufsetzen bleibt der Oberschenkel jedoch gebeugt. Dann erhebt sich wieder die Ferse des hinteren Fußes und das gekrümmte Bein wird nach vorne geworfen. Die Bewegungen beim Gehen werden durch das Vorneigen des Rumpfes unterstützt. Die Schwerelinie fällt damit vor den Fuß. Wir würden hinfallen, wenn wir den nachfolgenden Fuß nicht sofort aufsetzen würden.

S p r i n g e n :
Der Oberkörper hat eine stärkere Neigung nach vorne und die Beine sind stärker gebeugt. Durch eine plötzliche Streckung wird dann der Körper in die Höhe geworfen. Dabei muß der Boden Widerstand leisten.

B A R T H E Z, Paul Joseph

Nouvelle mécanique des mouvements de l'homme et des animaux (1798)

Beim G e h e n erhält der Körper durch die Neigung des Kopfes und des Rückgrates einen Stoß nach vorne und eilt über das stehende Bein hinaus. Das hintere Bein entfernt sich durch einen Stoß vom Boden und begibt sich weiter nach vorne als der Körper, um ein Fallen zu verhindern.
Die Schrittlänge ist beim L a u f e n genau so groß wie beim Gehen. Die Schrittdauer ist dagegen kürzer.
BARTHEZ lehnt die Vorstellung ab, daß sich das hintere sich streckende Bein nur deshalb vom Boden abheben könnte, weil ein Gegendruck des Bodens bestünde.

R O U L I N, François Désiré

Recherches théoriques et expérimentales sur le mécanisme des attitudes et des mouvements de l'homme (1821)

In seinem Werk gibt ROULIN lediglich eine historische Übersicht über die Autoren, die vor ihm über das Gehen und Laufen des Menschen geschrieben haben.

C H A B R I E R, J.

Essai sur le vol des insectes et observations sur quelques parties de la mécanique des mouvements progressifs de l'homme et des animaux vertébrés (1822).

CHABRIER meint, daß das hintere Bein beim G e h e n den Körper nicht vom Boden abstößt. Der Körper wird durch das vordere Bein nach vorne bewegt, indem es sich beim Fußabrollen mit Hilfe der Streckmuskulatur um das tibio-tarsale Gelenk bewegt. Das punctum fixum dieses Beines liegt im oberen Sprunggelenk. Bei dem Bein, das den Boden verlassen hat, liegt das punctum fixum im Hüftgelenk.
Beim S p r i n g e n macht der Körper vorher eine Beugung in drei Gelenken: im Hüftgelenk, im Kniegelenk und im Fußgelenk. Die Streckmuskeln sind dabei gespannt. Durch plötzliche Aktion der Streckmuskeln löst sich der Körper vom Boden. Kurz danach findet eine Beugung dieser Gelenke statt. Dadurch entsteht eine Zentrifugalkraft, die die Dauer des Sprunges etwas verlängern kann.
Beim L a u f e n wird die Vorwärtsbewegung hauptsächlich durch die Streckmuskeln des vorderen Beines erzeugt. Beim Lauf findet außerdem noch ein Sprung auf einem Bein statt, ähnlich wie ein Sprung auf beiden Beinen.

M A G E N D I E, Francois

Précie élémentaire de physiologie (1825)

B e w e g u n g s a b l a u f d e s G e h e n s:
Durch die Streckung des hinteren Beines dreht sich das Becken

um den Schenkelkopf des vorderen fixierten Beines. Der Schenkelkopf des hinteren Beines beschreibt dabei einen horizontalen Kreisbogen von hinten nach vorne. Dann macht das andere Hüftgelenk die gleiche Bewegung. Beim Gehen setzt sich die Kreisbewegung der Schenkelköpfe wechselseitig fort.

G E R D Y, Pierre Nicolas

Physiologie médicale didactique et critique (1833).

B e i n b e w e g u n g b e i m G e h e n:
Beim Abheben des Beines vom Boden wird zuerst das Fußgelenk, dann das Kniegelenk und dann das Hüftgelenk gebeugt. Die Beine bewegen sich nach vorne durch den Stoß, den sie selber erzeugt haben und durch die Vorbeugung des Beckens. Die Beine werden vorne gestreckt und nach unten bewegt. Wenn sie auf dem Boden aufsetzen, übernehmen sie den größten Teil der Körperlast.
Bewegungen von R u m p f, B e c k e n und S c h u l t e r n beim Gehen:
Der Rumpf bewegt sich abwechselnd nach rechts und nach links immer zum auftretenden Bein hin. Gleichzeitig hebt und senkt sich der Rumpf wechselseitig. Er hebt sich kurz vor dem Abheben des hinteren Fußes und senkt sich wieder, wenn sich das schwingende Bein nach vorne bewegt.
Das Becken folgt dem fortschreitenden Bein und dreht sich dabei um das ruhende Bein in horizontaler Richtung nach vorne. Die Brust und die Schultern drehen sich um eine senkrechte Achse, die durch die Wirbelsäule zu gehen scheint. Bei dieser

Drehung bewegen sich die Schultern wechselweise nach vorne und in entgegengesetzter Richtung des Beckens. Die Arme folgen dieser Bewegung und schwingen in entgegengesetzter Richtung der Beine. Die Auf= und Abwärtsbewegungen von Schulter und Becken verlaufen ebenfalls gegensinnig.
Beim L a u f e n sind die Bewegungsvorgänge ähnlich wie beim Gehen. Der Unterschied besteht darin, daß der Läufer eine Zeitlang in einer parabolischen Bahn durch die Luft fliegt. Die Fortbewegung ist beim Laufen schneller.

P O I S S O N, Siméon Denis

Traité mécanique (1833).

POISSON berechnet die A r b e i t, die beim Gehen des Menschen aufgebracht wird. Er betrachtet die Bahn des Körperschwerpunktes als einen Kreisbogen, dessen Radius das stemmende Bein ist. In der Mitte dieses Kreisbogens steht das Bein senkrecht. In der ersten Hälfte des Kreisbogens hebt der Mensch seinen Schwerpunkt um die Höhe h und leistet die Arbeit G·h (G = Körpergewicht des Menschen). In der Mitte des Bogens hat der Körper eine horizontale Geschwindigkeit v. Um diese Geschwindigkeit zu erreichen, ist eine Arbeitsmenge notwendig, die gleich der lebendigen Kraft ist, also $\frac{1}{2}\,mv^2$, bzw. $\frac{1}{2}\,\frac{G}{g}\cdot v^2$. In der zweiten Hälfte des Kreisbogens wird die Geschwindigkeit nicht mehr durch Muskelkraft vermehrt. Die am Ende noch vorhandene Geschwindigkeit wird durch das andere auftretende Bein aufgehoben. Die bei einem Schritt aufgebracht Arbeit ist also:

$$A = G\cdot h + \frac{1}{2}\cdot\frac{G\cdot v^2}{g}\ \text{mkg}$$

W E B E R, Wilhelm und Eduard

Die Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge (1836).

Versuchspersonen

Die Zahl der Versuchspersonen wechselt zwischen 1 und 12.

Meßgeräte und Meßmethoden

Als Meßgeräte wurden verwandt:

M e t e r m a ß, T e r t i e n u h r, F e r n r o h r.

Die Versuche wurden auf einer Bahn von 43,43 m Länge gemacht. Die Versuchsperson zählte selbst die Schritte auf dieser Bahn. Sie setzte die Tertienuhr selbst in Bewegung und brachte sie wieder zum Stehen. Aus der Zahl der Schritte, der Länge der Gehstrecke und der Zeit, die zum Begehen dieser Strecke gebraucht wurde, ließ sich folgendes berechnen:

die m i t t l e r e S c h r i t t l ä n g e,

die m i t t l e r e S c h r i t t d a u e r und

die m i t t l e r e G a n g g e s c h w i n d i g k e i t.

Die D a u e r der S t ü t z p h a s e wurde mit einer in den Boden eingelassenen Tertienuhr gemessen. Die Uhr wurde beim Auftreten ausgelöst und beim Heben des Fußes abgeschaltet. Dabei ging die Versuchsperson auf dem Ballen.

Messung der V e r l ä n g e r u n g des h i n t e r e n g e s t r e c k t e n B e i n e s: im Stehen wird ein Faden am vorderen Sohlenrand des Fußes befestigt und am anderen Ende mit der Hand an den Trochanter major gehalten. Beim Gehen rutscht der gespannte Faden durch die Hand und zeigt die Verlängerung des Beines an.

Mit Hilfe des Fernrohres werden bestimmt:
Die Höhe der H e b u n g d e s F u ß e s in der Schwungphase, die v e r t i k a l e n S c h w a n k u n g e n des T r o c h a n t e r m a j o r, die s a g i t t a l e N e i g u n g des R u m p f e s. Mit der Neigung des Rumpfes ist der Winkel gemeint, den eine Linie vom Atlas zum Kreuzbein mit der Vertikalen bildet.
Um die Dauer der P e n d e l s c h w i n g u n g des B e i n e s zu messen, wird das andere Bein auf eine hohe Unterlage gestellt. Den Rumpf stützt die Versuchsperson dabei mit den Armen auf. Das schlaff herunterhängende Bein wird durch leichte Anstöße in Schwingungen versetzt und die Schwingungsdauer gemessen.
Um zu beweisen, daß das schwingende Bein im Hüftgelenk nur durch den atmosphärischen Druck gehalten wird, machten die Brüder WEBER folgenden Versuch:
Ein Leichnam wurde mit dem Rücken nach oben auf eine Tafel gelegt. Die Beine ließ man frei pendeln. Nach Durchschneidung aller Muskeln und auch Durchschneidung der Kapsel blieb der Hüftkopf fest in der Pfanne. Bohrte man dagegen ein Loch von der Beckeninnenwand in die Pfanne, so fiel das Bein herab, bis es nur noch von dem Ligamentum teres gehalten wurde. Setzte man den Schenkelkopf wieder in die Hüftpfanne und hielt das Loch mit dem Finger verschlossen, so blieb das Bein wieder in der Pfanne hängen.

Ergebnisse

1. G e h e n (Abbildung 2).

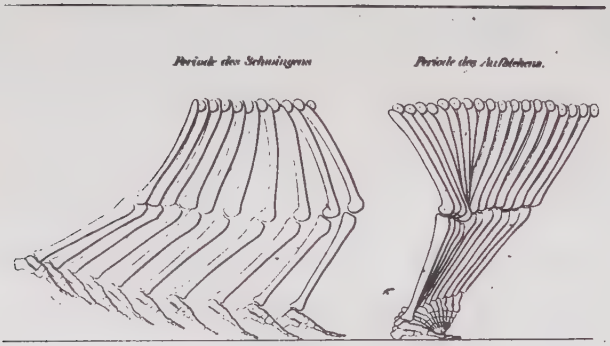


Abb. 2

Die Bewegung der Beine beim Gehen (WEBER).

Die Stützphase eines Beines kann niemals kürzer werden als die Schwungphase, weil beide Beine eine Zeitlang gleichzeitig den Boden berühren (Abbildung 3).

Die Verlängerung des hinteren Beines beim Stemmen beginnt mit einer Streckung im Kniegelenk, der dann erst eine Streckung im Fußgelenk folgt. Die Verlängerung beträgt etwa 0,9 cm.

Die Lösung des hinteren Fußes erfolgt durch Beugung im Kniegelenk, während Fuß und Zehen gestreckt bleiben. Die Ferse wird dabei um 0,175 m und die Fußspitze um 0,11 m im Durchschnitt gehoben.

Zwischen der Schrittlänge, der Schrittdauer und der Ganggeschwindigkeit ergeben sich folgende Beziehungen:

M i t z u n e h m e n d e r G e s c h w i n d i g k e i t n i m m t d i e S c h r i t t l ä n g e z u u n d d i e S c h r i t t d a u e r a b. Bei einer Ganggeschwindigkeit von 0,379 m/sec beträgt die Schrittlänge 0,398 m und die Schrittdauer 1,050 sec. Bei der gleichen Versuchsperson beträgt bei einer Ganggeschwindigkeit von 2,397 m/sec die Schrittlänge 0,851 m und die Schrittdauer 0,335 sec. Die durchschnittliche Dauer der P e n d e l s c h w i n g u n g des freischwingenden Beines wurde mit einem mittleren Wert von 0,707 sec gemessen. Die kleinste Schrittdauer betrug bei 12 Versuchspersonen im Durchschnitt 0,357 sec. Daraus ergibt sich, daß die kleinste Schrittdauer etwa der Hälfte der Pendelschwingung eines Beines gleich ist.

Daraus schlossen die Brüder WEBER, daß die B e i n b e w e g u n g i n d e r S c h w u n g p h a s e eine reine Pendelschwingung sei, das heißt die Beinbewegung in der

Abb. 3

Schematische Darstellung des Gehens.

1 = Doppelstützphase
2 = Schwungphase
1 - 3 = Stützphase eines Beines
1 und 2 bilden einen Schritt

nach WEBER

Schwungphase wird nicht durch die Kraft der Muskeln, sondern nur durch die Kraft der Schwere hervorgebracht. Die Bestätigung für diese Auffassung fanden sie in der Gleichmäßigkeit der Schritte, in der geringen Ermüdung beim Gehen und vor allem durch die Untersuchungen an der Leiche, bei denen sich ergeben hatte, daß das Bein nur vom atmosphärischen Druck getragen wird.

Beim s c h n e l l s t e n G e h e n wird die Doppelstützphase immer kleiner, bis sie praktisch gleich Null wird. Das Gehen besteht dann nur noch aus der Stützphase und der Schwungphase und beide Phasen sind gleich lang. Sie wurden mit 0,317 sec berechnet. Dies ist wiederum etwa die Hälfte der Schwingungsdauer des freipendelnden Beines.

Das b e q u e m s t e G e h e n wird bei einer Schrittdauer von 1/2 bis 2/3 sec ermittelt. Bei dieser Schrittdauer können die Arme in ihrer Eigenschwingung schwingen und zwar mit 0,63 sec/min. Das Mitschwingen der Arme soll die Drehung des Rumpfes verhindern, die als Fehler angesehen wird.

R u m p f n e i g u n g:

Beim Gehen beträgt die Rumpfneigung nach vorne etwa 5,7 Grad. Mit zunehmender Ganggeschwindigkeit wird die Rumpfneigung größer und wächst bis auf 10 Grad. Die vertikale Rumpfbewegung wurde als senkrechte Schwankung des Trochanter majors mit durchschnittlich 32 mm gemessen. Dieses senkrechte Heben des Rumpfes blieb bei verschiedenen Ganggeschwindigkeiten auffallend konstant. Daraus schlossen die Brüder WEBER, daß die Streckkraft des stemmenden Beines ziemlich gleich bliebe.

2. L a u f e n

Beim Laufen ist die Stützphase wesentlich kürzer als die Schwungphase. Beim Laufen wechseln die Phasen ab, in denen ein Bein den Boden berührt und in denen kein Bein den Boden berührt, das heißt es besteht eine Flugphase.

Die Brüder WEBER haben die m i t t l e r e S c h r i t t l ä n g e und die m i t t l e r e S c h r i t t d a u e r bei verschiedenen Laufgeschwindigkeiten gemessen. Bei einer Laufgeschwindigkeit von 2,828 m/sec beträgt die Schrittdauer 0,323 sec und die Schrittlänge 0,912 m. Bei einer Geschwindigkeit von 1,003 m/sec beträgt die Schrittdauer 0,310 sec und die Schrittlänge 0,311 m.

Während die Schrittlänge bei höherer Laufgeschwindigkeit ziemlich groß wird, bleibt die Schrittdauer annähernd konstant. Nur bei schnellstem Laufen, wenn eine ausgesprochene Flugphase besteht, wird die Schrittdauer sichtlich kleiner.

Bei einer Geschwindigkeit von 6,204 m/sec beträgt die Schrittdauer nur noch 0,259 sec. Beim Gehen wachsen die Einzelstützphase und die Doppelstützphase im gleichen Maße an. Beim Laufen ist die Summe der Dauer der Flugphase addiert zur Schrittdauer immer gleich der Schwungphase des Beines (Abbildung 4). Die Dauer der Schwungphase ist dabei gleich der halben Schwingungsdauer des freipendelnden Beines.

Die v e r t i k a l e n S c h w a n k u n g e n d e s R u m p f e s betragen beim Lauf 20 - 30 mm. Es ergibt sich zwischen Gehen und Laufen folgender Unterschied:

Beim Gehen hebt sich der Körper am höchsten, wenn das Bein senkrecht unter ihm ist. Beim Laufen erreicht in diesem Augen-

Abb. 4

Schematische Darstellung des Laufens.

1 = Stützphase
2 = Flugphase
2 - 4 = Schwungphase eines Beines
1 und 2 bilden einen Schritt

nach WEBER

blick der Rumpf seinen tiefsten Punkt.

Die maximale Geschwindigkeit beim Laufen wurde mit 6,5 m/sec gemessen. Das entspricht einer Zeit von 15,4 sec auf 100 m.

Die Schrittdauer beim schnellsten Lauf beträgt 3/4 der Schrittdauer beim schnellsten Gehen. Die Schrittlänge ist zweimal so groß wie beim Gehen.

3. Theorie des Gehens und Laufens:

Die Brüder WEBER haben auf Grund ihrer Untersuchungen eine Theorie des Gehens und Laufens aufgestellt. Sie gehen dabei davon aus, daß drei Kräfte beim Gang des Menschen wirksam werden, die Streckkraft der Muskulatur, die Schwerkraft und der Bodenwiderstand. Sie haben drei Prinzipien herausgestellt:

a) Das Prinzip des Maßes der Anstrengung. Die Streckkraft ist nur so groß, daß der Mittelpunkt der Körpers immer in der gleichen Horizontalen gehalten wird.

b) Das Prinzip der Richtung der Streckung. Die Richtung der Streckkraft geht immer durch den Fußpunkt des stemmenden Beines und den Mittelpunkt des Körpers.

c) Das Prinzip der anfänglichen Streckung Das vordere Bein steht senkrecht auf dem Boden in dem Augenblick, in dem das hintere Bein den Boden verläßt.

Für das Laufen sind die Grundlagen der Theorie ähnlich, wenn man zusätzlich den Unterschied zwischen Gehen und Laufen berücksichtigt.

Die Brüder WEBER haben für das Gehen und das Laufen Formeln aufgestellt.
Sie sind der Auffassung, daß es für das Gehen 4 variable Größen gibt: die Schrittlänge, die Schrittdauer, die Höhe des Körperschwerpunktes vom Boden und die Dauer der Einzelstützphase. Für das Laufen gäbe es 7 variable Größen. Sie sagen, daß wenn eine dieser Größen bekannt wäre, sich die anderen berechnen ließen. Das Gehen und das Laufen lassen sich also jeweils durch eine einzige Variable bestimmen.

4. Bestimmung des Körperschwerpunktes:

Die Brüder WEBER haben den Körperschwerpunkt auf ähnliche Weise bestimmt wie BORELLI. Dabei haben sie den Leichnam nicht ins Gleichgewicht gebracht, sondern haben ihn auf dem Brett so lange verschoben, bis er das Übergewicht bekam. Sie markierten die Stelle des Scheitels und legten dann den Leichnam anders herum auf das Brett und brachten das Brett wieder zum Überkippen. Sie markierten wieder die Stelle des Scheitels auf dem Brett und errechneten den Mittelwert dieser beiden Markierungen. Sie erhielten folgendes Ergebnis:
Der Körperschwerpunkt eines Mannes von 1669 mm Größe lag:

721,5 mm unterhalb des Scheitels
947,7 mm oberhalb der Ferse
87,7 mm oberhalb der queren Hüftgelenkachse
8,7 mm oberhalb des Promontoriums.

Wie BORELLI bestimmten sie die Transversalebene des Körperschwerpunktes.

M E Y E R, Georg Hermann von

1) Das aufrechte Stehen (1853)

2) Das aufrechte Gehen (1853)

3) Die Individualitäten des aufrechten Ganges (1853)

4) Die wechselnde Lage des Schwerpunktes in dem menschlichen Körper (1863)

5) Über die Kniebeugung in dem abstoßenden Beine und über die Pendelung des schwingenden Beines im gewöhnlichen Gange (1869)

6) die Statik und Mechanik des menschlichen Knochengerüsts (1873)

7) Die richtige Gestalt des menschlichen Körpers in ihrer Erhaltung und Ausbildung für das allgemeine Verständnis (1874)

8) Die Mechanik des menschlichen Ganges (1881)

Versuchspersonen und Meßgeräte

Versuchspersonen und Meßgeräte werden von v.MEYER nicht angegeben. Er erwähnt, Fußspuren und einzelne Stellungen beim Gang ausgemessen zu haben. Über Zahlenergebnisse wird nicht berichtet.

Ergebnisse

1. Betrachtungen über das Stehen, Gehen und Laufen.

Beim S t e h e n muß die Schwerelinie den Raum treffen, der von den Füßen begrenzt wird. Die militärische Haltung ist das Stehen mit der geringsten Muskeltätigkeit.

Beim G e h e n unterscheidet von MEYER einen v e r t i k a l e n und einen h o r i z o n t a l e n B o g e n des Hüftgelenks. Der vertikale Bogen hat seinen Mittelpunkt im

Fußgelenk, bzw. Kniegelenk. Der Radius des vertikalen Bogens ist die Länge des Beines. Beim vertikalen Bogen werden unterschieden: ein Hauptbogen, sowie ein hinterer und vorderer Ergänzungsbogen. Beim Hauptbogen fällt die Schwerelinie in die Unterstützungsfläche des Fußes. Bei den zwei Ergänzungsbögen fällt die Schwerelinie hinter, bzw. vor die Unterstützungsfläche. Der Hauptbogen liegt in der Einzelstützphase, die zwei Ergänzungsbögen liegen in den zwei zugehörigen Doppelstützphasen des Beines. Der horizontale Bogen hat seinen Mittelpunkt im Hüftgelenkmittelpunkt. Sein Radius ist die quere Hüftgelenkachse. Der horizontale Bogen hat gleichzeitig eine vertikale Komponente.

Während die Brüder WEBER die Auffassung vertraten, daß sich das hintere Bein am Boden durch eine Streckung abstößt und das Bein erst beim Anheben vom Boden im Kniegelenk gebeugt wird, meint von MEYER, daß diese Bewegung nicht der bequemsten Gangart entspreche. Bleibt das Kniegelenk beim Abstoßen in Streckstellung, so bildet der Oberschenkel mit der Senkrechten einen Winkel von 20 - 40°. Bei einem solch großen Winkel wird das Becken zwangsläufig nach vorne gekippt. Diese Beckenkippung muß durch eine entsprechende Lendenlordose ausgeglichen werden. Wird das hintere Bein aber schon vor dem Abheben im Kniegelenk gebeugt, so wird der Winkel zwischen Oberschenkel und Senkrechter kleiner. Er liegt dann ziemlich konstant bei etwa 7°. Eine ausgleichende Lendenlordose ist dann nicht mehr nötig. Eine Kniestreckung findet bei von MEYER beim natürlichen Gang weniger in dem abstoßenden Bein, als vielmehr im Standbein

während des Hauptbogens statt.
Bei der Bewegung des schwingenden Beines wirken die Schwere und die Muskeltätigkeit zusammen. Die Schwere reicht allein zur Pendelbewegung nicht aus, weil das Bein von Muskelmassen umgeben ist, die der freien Pendelbewegung einen passiven Widerstand entgegensetzen. Es sind also zusätzlich Muskelkräfte zur Beinbewegung notwendig. Einen zusätzlichen Einfluß auf die Schwingung des Beines hat die Aufrichtung des Beckens mit seiner zwangsläufigen Hüftstreckung.

Es gibt keinen natürlichen Gang, sondern der Gang jedes Menschen ist verschieden. Über Schrittlänge und Schrittdauer, sowie über vertikale und horizontale Schwankungen des Körpers und einzelner Körperteile, lassen sich daher keine genauen Angaben machen.
Von MEYER unterscheidet folgende Gangformen:
den p a t h e t i s c h e n G a n g - den f l ü c h t i g e n G a n g - den g e w ö h n l i c h e n G a n g.
Beim pathetischen Gang wird der Körper so lange durch den hinteren Fuß unterstützt, bis der vordere Fuß den Boden berührt. Beim flüchtigen Gang verliert der Körper seine Unterstützung schon ehe der vordere Fuß den Boden berührt, so daß ein Umfallen nach vorne stattzufinden droht. Der gewöhnliche Gang liegt zwischen diesen beiden extremen Gangarten.
Bei normaler Fußstellung zeigt die Fußspitze nach außen; das freischwebende Bein hängt mit der Fußspitze nach innen. Nachdem der äußere Fußrand aufgesetzt ist, wird die Ferse nach innen gedreht. Diese Bewegung soll aber nicht sehr ausgeprägt sein.

Der L a u f kommt dadurch zustande, daß der vordere Ergänzungsbogen durch eine Sprungbewegung vergrößert wird.

2. Bestimmung des Körperschwerpunktes:
Der Körperschwerpunkt muß in den 3 Ebenen des Raumes bestimmt werden: der medialen Ebene - der horizontalen, transversalen Ebene - der frontalen Ebene. Auf Grund der Symmetrie des Körpers wird angenommen, daß der Gesamtschwerpunkt in der mittleren Ebene des Körpers liegt. Die transversale Ebene wurde von BORELLI und später auf ähnliche Weise von den Brüdern WEBER bestimmt. Von MEYER stellte die frontale Ebene des Körperschwerpunktes auf folgende Weise fest: Er ließ den stehenden Menschen nach vorne und nach hinten extreme Stellungen einnehmen. Er bestimmte den Winkel zwischen den Körperlängsachsen dieser Extremstellungen. Diesem Wert entspricht der Schwerpunktsweg, der gleich der Fußlänge ist. Da für diesen Winkel der Schwerpunktsweg bekannt ist, läßt sich auch für jeden anderen Winkel, welchen die Körperlängsachse mit der Extremstellung beschreibt, der entsprechende Schwerpunktsweg berechnen. Von MEYER bestimmte den Körperschwerpunkt für alle Winkel, die der Körper in der Ausgangsstellung einnehmen kann. Für die aufrechte Ruhehaltung lag der Körperschwerpunkt etwa im 2. Kreuzbeinwirbel.
Zur Bestimmung des Körperschwerpunktes für verschiedene Körperstellungen bestimmte von MEYER zunächst die Einzelschwerpunkte der Körperteile und die Relativgewichte der Körperteile. Diese Bestimmungen wurden für folgende Teile durchgeführt: Kopf, Brustteil und Beckenteil des Rumpfes, Oberarm, Unterarm, Hand, Oberschenkel, Unterschenkel, Fuß.

Von MEYER faßte die einzelnen Körperteile als mathematische Körper auf und berechnete für sie den Schwerpunkt. So wurden die Glieder als Kegelstümpfe und der Rumpf als zwei Ellipsoide aufgefaßt. Nähere Angaben werden nicht gemacht. Es wird angegeben, daß die direkten Bestimmungen der Einzelschwerpunkte von HARLESS mit seinen Feststellungen übereinstimmten. Aus den Einzelschwerpunkten wurde der Körperschwerpunkt bestimmt und zwar nach der allgemeinen Gesetzmäßigkeit, daß der gemeinsame Schwerpunkt zweier Massen ihre Verbindungslinie im umgekehrten Verhältnis der Massen teilt. Er stellte den Körperschwerpunkt für folgende Stellungen fest:
Beim Vor= und Rückwärtsneigen des Rumpfes im Stehen -
beim Heben des Beines nach vorne und hinten im Stehen -
beim Sitzen -
beim Knien auf einem Bein (Abbildung 5) und
beim Hinaufsteigen auf eine hohe Stufe.

H A R L E S S, Emil

Die statischen Momente der menschlichen Gliedmaßen (1857)

Versuchspersonen

Die Messungen werden an 6 Leichen durchgeführt. Über die Zahl der lebenden Versuchspersonen werden keine Angaben gemacht.

Meßgeräte und Meßmethoden

HARLESS entwickelt eine Methode zur Bestimmung des K ö r p e r s c h w e r p u n k t e s aus den Einzelschwerpunkten am toten und am lebenden Menschen.
Die Voraussetzung dafür war, daß man Gewicht und Länge des

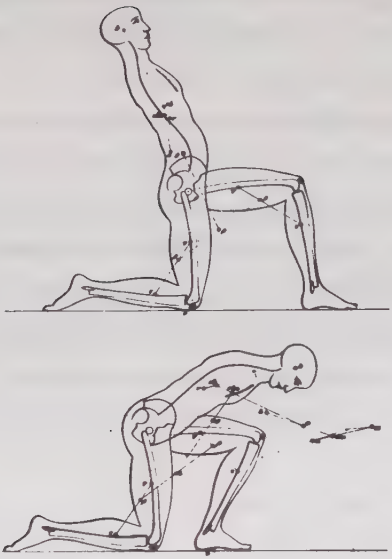


Abb. 5

Bestimmung des Körperschwerpunktes beim Knien auf einem Bein (von MEYER).

ganzen Körpers und seiner einzelnen Teile kannte. Die Gewichtsbestimmung des toten Menschen erfolgte durch einfaches Wiegen des ganzen Körpers und seiner einzelnen Teile. Das Gewicht der einzelnen Körperteile beim lebenden Menschen mußte aus dem spezifischen Gewicht und dem Volumen berechnet werden. Die Einzelschwerpunkte wurden bei der Leiche durch Ausbalancieren auf einer verschieblich aufgehängten Waage bestimmt. Beim lebenden Menschen war eine direkte Messung der Einzelschwerpunkte nicht möglich. Die gefundenen Gesetzmäßigkeiten der Leiche mußten auf ihn übertragen werden.
Um die Bestimmung des Körperschwerpunktes in verschiedenen Stellungen durchführen zu können, wurden zunächst die Abstände der Einzelschwerpunkte von der Schwerelinie gemessen. Beim lebenden Menschen geschah dies nicht an ihm selbst, sondern an Fotographien oder an einem Modell aus Stäben und Fäden. Die Berechnung der Körperschwerpunktes war nun auf zwei Arten möglich.

1. Er konnte mit folgender Formel bestimmt werden:

$$x = \frac{P_1x_1 + P_2x_2 + P_3x_3 + P_4x_4 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots}$$

x = Abstand des Körperschwerpunktes von der jeweiligen Projektionsebene.

P_1 , P_2 , P_3 usw. = Gewichte der einzelnen Körperteile.

x_1 , x_2 , x_3 usw. = dazugehörige Abstände der Einzelschwerpunkte von der Projektionsebene.

2. Der Körperschwerpunkt konnte auch mit Hilfe einer Waage bestimmt werden. Auf der einen Seite brachte HARLESS die Gewichte der jeweiligen Körperteile in einem solchen Abstand vom

Unterstützungspunkt der Waage an, wie es dem Abstand der Teilschwerpunkte von der Schwerelinie entsprach. Auf der anderen Seite brachte er die Waage mit einem Gewicht ins Gleichgewicht. Für eine andere Körperstellung wurden die Gewichte der Körperteile verschoben. Dementsprechend verschob sich auch das Gegengewicht. Die Größe der Verschiebung war abhängig von der resultierenden Wirkung der Verschiebung der Einzelgewichte und der Differenz zwischen dem absoluten Wert des Gegengewichtes und der Summe der Einzelgewichte. Je kleiner das Gegengewicht, umso größer war die nötige Verschiebung und umso genauer war die Ablesung. Diese Bestimmung wurde in 3 Ebenen gemacht.

Ergebnisse

Am Beispiel einer Leiche sei die Lage der Einzelschwerpunkte und des Körperschwerpunktes wiedergegeben. Sie war 24 Jahre alt und 165,5 cm groß. Die Tabelle enthält die Verhältniszahlen der Abstände der Einzelschwerpunkte von der oberen und unteren Gelenkachse. Die Länge des Körperteiles wird als 1 bezeichnet.

	von oben	von unten
Kopf	0,36667	0,63333
oberer Teil des Rumpfes	0,42756	0,57244
unterer Teil des Rumpfes	0,43629	0,56371
Oberarm	0,48521	0,51479
Vorderarm	0,43887	0,56113
Hand	0,47371	0,52629
Oberschenkel	0,46760	0,53240
Unterschenkel	0,36025	0,63975
Fuß	0,45977	0,54023
	(v.d.Ferse)	v.d.Zehen)

Der Körperschwerpunkt lag 59 % der Körperlänge von der Standebene entfernt. Bei einer Körperlänge von 165,5 cm sind das also 97,6 cm vom Boden.

G I R A U D - T E U L O N, Felix

Principes des mécanique animale (1858)

Es werden die Werke folgender Autoren zitiert und kritisiert: GASSENDI, BORELLI, DUCHENNE, GERDY, MAREY und die Brüder WEBER. Eigene Versuche und Messungen werden nicht angegeben. GIRAUD-TEULON meint, daß beim Gehen in der Stützphase der Körperschwerpunkt über dem Absatz des gebeugten Beines liege. Er beobachtet einen Mann, der die Treppe hinaufgeht und stellt fest, daß sich beim Aufsetzen des Fußes der Körperschwerpunkt senkt.

D U C H E N N E, G.B.

Physiologie der Bewegungen (1885)
(Das französische Original erschien 1867).

DUCHENNE widerlegt die WEBER'sche Theorie von der Pendelbewegung des schwingenden Beines:
Bei der Lähmung der Beugemuskeln des Oberschenkels kann die Schwungphase des Beines nur so durchgeführt werden, daß Hüfte und Schulter dieser Seite angehoben werden und dann eine horizontale Rotation des Beckens um das andere Hüftgelenk (das Hüftgelenk des Standbeines) erfolgt. Ohne diese Rotationsbewegung des Beckens schwingt die Extremität nur langsam bis zur Senkrechten, kann aber nicht nach vorne gebracht werden.

Daraus geht hervor, daß Muskelkräfte notwendig sind und daß die Schwerkraft für die Beinschwingung nicht ausreicht. Auch die Armschwingung ist keine reine Pendelbewegung, sondern kommt durch Muskelkontraktionen, insbesondere des M. deltoideus zustande.

C A R L E T, G.

Essai expérimental sur la locomotion humaine (1872)

Versuchspersonen

Über die Anzahl der Versuchspersonen wird nichts gesagt. Angeblich sei es eine große Zahl von Personen gewesen.

Meßgeräte und Meßmethoden

Die Versuchsperson ging auf einer Kreisbahn von 20 m Länge. In der Mitte dieses Kreises stand ein Tisch, auf dem der Kymograph drehbar befestigt war. Über einen etwa 3 m langen Arm standen die Apparate, die für die Messung erforderlich waren, mit diesem Kymographen in Verbindung. Die Apparate wurden von der Versuchsperson vor sich hergeschoben (Abbildung 6). Es handelte sich dabei um einen Apparat zur Messung der Vertikal= und Horizontalbewegung des Rumpfes, wobei am Trochanter major und an der Symphyse gemessen wurde und um einen Apparat zur Messung der Neigung des Rumpfes in der Sagittalebene. Außerdem trug die Versuchsperson Spezialschuhe, sogenannte Chaussures exploratrices, die aus einer Gummisohle mit 2 luftgefüllten Kammern bestanden und über Gummischläuche mit dem Kymographen verbunden waren. Es waren sogenannte MAREY'sche Kapseln.

Das Abrollen der Ferse und des Ballens konnten getrennt registriert werden. Da auch die Zeit mit Hilfe eines elektrischen Metronoms gemessen wurde, konnte außer der Schrittlänge auch die Schrittdauer jedes einzelnen Schrittes bestimmt werden.

Ergebnisse

CARLET hat seine Untersuchungen auf den Gang des Menschen beschränkt. Er beobachtet folgenden B e w e g u n g s a b l a u f d e s B e i n e s: Im Moment des Aufsetzens des Fußes ist das Bein gestreckt oder leicht gebeugt. Die Beugung vergrößert sich zunächst und das Bein wird danach wieder gestreckt. Die Streckung erreicht ihr Maximum in dem Moment, in dem das Bein den Boden verläßt. Die Gelenke strecken sich in der Reihenfolge von oben nach unten. Das Bein hebt sich vom Boden ab, indem das Kniegelenk gebeugt wird. Dabei bleiben Fuß= und Zehengelenke zunächst gestreckt.
Die Abrollkurve des Fußes zeigt jeweils ein Maximum für die Ferse und eines für den Ballen (Abbildung 7, obere Linie). CARLET zeigt, daß während der Schwingung des Beines Muskelkontraktionen stattfinden und widerlegt damit die WEBER'sche Theorie von der Pendelbewegung des Beines. Die andere WEBER'sche Aussage, daß die Schrittlänge mit zunehmender Geschwindigkeit wächst, wird von CARLET bestätigt. Er stellt folgende Beziehungen zwischen der Schrittdauer (Tp), der Schwungphase des Beines (To), der Stützphase des Beines (Ta) und der Doppelstützphase (T2a) her.

$$Tp = To + T2a \qquad \text{und} \qquad Tp = \frac{Ta + To}{2}$$

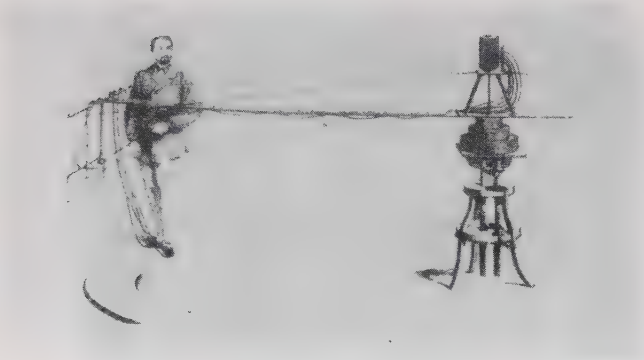


Abb. 6

Apparatur zur Messung einzelner Größen beim Gang (CARLET)

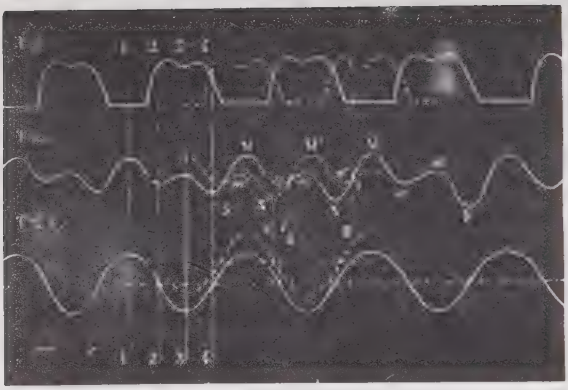


Abb. 7

Zeitliche Zuordnung der Stützphasen des Beines zu den Schwingungsbewegungen des Trochanter majors.

Obere Kurve : Stützphasen des Beines
mittlere Kurve: senkrechte Schwingungen des Trochanter majors
untere Kurve : horizontale Schwingungen des Trochanter majors.

(CARLET)

Die beiden T r o c h a n t e r e n machen beim Gehen eine doppelte Schaukelbewegung. Sie bewegen sich in senkrechter Richtung nach oben und unten (etwa zwischen 92 und 46 mm) und in horizontaler Richtung nach rechts und nach links (zwischen 69 und 74 mm). Eine zeitliche Zuordnung der Maxima und Minima der Trochanteren zu der Stützphase und der Schwungphase des Beines siehe Abbildung 7. Beim Größerwerden der Schritte bleiben die Maxima der senkrechten Schwingungen des Trochanter majors auf gleicher Höhe, ihre Minima aber senken sich (2.Kurve von Abbildung 7). Beim Größerwerden der Schritte bleiben die horizontalen Schwingungen der Trochanteren konstant, wenn der seitliche Abstand der Füße von der Gangrichtung konstant bleibt. Zur Betrachtung der Schwingungsbewegung des Rumpfes wurde die S y m p h y s e gewählt. Die Symphyse erreicht ein Minimum ihrer vertikalen Schwingung jedes Mal, wenn sie sich in der Mitte ihrer horizontalen Schwingung befindet. Die Symphyse erreicht ein Maximum ihrer vertikalen Schwingung, wenn sie sich am weitesten rechts oder links von der Achse des durchlaufenen Weges befindet. Die Symphyse schwingt immer zur Seite des aufsetzenden Fußes hin. Man kann sich die Bahn der Symphyse in einem hohlen Halbzylinder beschrieben vorstellen, bei dem die Minima auf dem Boden und die Maxima am Rande liegen (Abbildung 8) Die mittleren Zahlenwerte für die horizontale Schwingung der Symphyse betragen 74 mm und die mittleren Werte für die vertikale Schwingung der Symphyse betragen 37 mm.
Neben diesen horizontalen und senkrechten Schwingungen des Rumpfes findet auch eine Neigungsbewegung des Rumpfes statt.

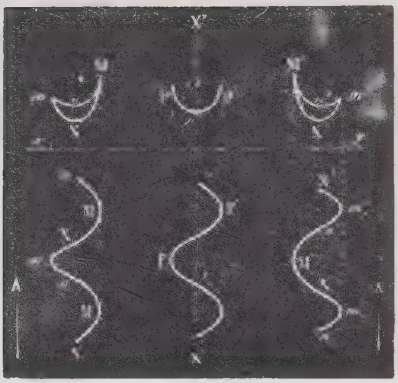


Abb. 8

Schwingungsbewegungen der Symphyse und der beiden Trochanteren.

oben : von hinten gesehen
unten : von oben gesehen
(Der Pfeil gibt die Gangrichtung an)

(CARLET)

Der Rumpf neigt sich abwechselnd nach rechts und nach links und zwar immer zur Seite des Beines, das aufgesetzt wird. Außerdem neigt sich der Rumpf nach vorne. Diese Neigung wächst mit zunehmender Größe der Schritte. Sie überschreitet beim natürlichen Gang aber nicht 10 Grad.
Beim natürlichen Gehen findet auch noch eine Torsion des Rumpfes statt. Man versteht darunter die gegensinnige Drehung von Becken und Schulter. Nur wenn beide Arme an den Körper angelegt werden, findet eine Rotation des Rumpfes anstelle einer Torsion statt.

M U Y B R I D G E, Eadweard

The human figure in motion (1901)
(Die Aufnahmen entstanden zwischen 1872 und 1885)

Er hat zum ersten Mal R e i h e n b i l d e r hergestellt. Es wurden 24 Kameras nebeneinander aufgestellt. Ein galoppierendes Pferd zerriß 24 quergespannte Zwirnsfäden, die die Kameraverschlüsse öffneten. Er erhielt auf diese Weise Serienaufnahmen eines galoppierenden Pferdes mit 24 Bildern. Später benutzte er eine Uhrwerkauslösung und machte gleichzeitig Aufnahmen aus drei verschiedenen Richtungen. Eine Analyse seiner Reihenbilder hat er nicht gemacht. Es kam ihm lediglich darauf an, den Bewegungsablauf beim Gehen, Laufen und einigen Sportarten anschaulich darzustellen (Abbildung 9).

Abb. 9

Gehender Mann
(MUYBRIDGE)

V I E R O R D T, Hermann

Das Gehen des Menschen in gesunden und kranken Zuständen (1881)

Versuchspersonen

In den meisten Versuchen tritt VIERORDT selbst als Versuchsperson auf (Auswertung von 169 Schritten). Darüber hinaus wurden einige Untersuchungen an Erwachsenen (67 Schritte) und Kindern (54 Schritte) durchgeführt.

Meßgeräte und Meßmethoden

1. Die F u ß s t e l l u n g (das heißt die Spreizweite der Füße und die Winkelstellung der Füße) und die S c h r i t t l ä n g e wurden folgendermaßen bestimmt: An einem Filzschuh waren 3 senkrechte mit farbiger Flüssigkeit gefüllte Zylinder angebracht. Während der Stützphase wurden dadurch 3 Punkte des Fußes auf einem Papier markiert.

2. Zur Registrierung der G l i e d e r b e w e g u n g e n wurden Spritzdüsen am Fuß, Unterschenkel, Oberschenkel, Kreuzbein, Arm und Kopf angebracht. Während des Gehens spritzte aus diesen Düsen nach unten und in horizontal seitlicher Richtung eine Farbflüssigkeit auf ein Papier. In der horizontal seitlichen Richtung wurde die Flüssigkeit auf eine 20 cm entfernte senkrechte Papierwand gespritzt. Die horizontalen und vertikalen Bewegungen der Glieder konnten damit nur in unvollkommener Weise festgehalten werden. Eine zeitliche Zuordnung der Gliederbewegung war nicht möglich.

3. Die zeitliche Zuordnung wurde durch folgende Versuchsanordnung erreicht (Abbildung 10) : An jedem Schuh wurden an der Ferse und am Ballen Unterbrecherkontakte angebracht. Bei der Berührung der Ferse, bzw. des Ballens mit dem Boden wurde der Stromkreis geschlossen und auf einem Kymographen ein horizontaler Strich gezeichnet. Da der Kymograph von der Versuchsperson selbst getragen wurde, waren auch Messungen beim Springen und Tanzen möglich.

Es ließen sich mit dieser Methode folgende Parameter messen: die Schrittfrequenz, die Dauer der Stützphase, Flugphase, Schwungphase, des Fersenauftrittes und des Ballenauftrittes.

Ergebnisse

Die durchschnittliche S c h r i t t l ä n g e beträgt etwa 0,6 bis 0,7 m. VIERORDT stellt deutliche Schwankungen der einzelnen Schrittlängen fest, wie auch Unterschiede der Schrittlänge zwischen dem rechten und linken Bein und zwar waren die Schritte des linken Beines im allgemeinen größer (zu 80 %). Auch die S c h r i t t d a u e r ist bei den einzelnen Schritten recht verschieden. Es bestehen ebenfalls Unterschiede zwischen rechts und links. Mit zunehmender Ganggeschwindigkeit wird die Schrittdauer kleiner und die Schrittlänge größer. Beim langsamen Gehen beträgt die mittlere Dauer des Doppelschrittes 2,56 sec und die mittlere Schrittlänge 47 cm. Bei schnellstem Gehen beträgt bei der gleichen Versuchsperson die mittlere Dauer des Doppelschrittes 0,83 sec und die mittlere Schrittlänge 72 cm. Bei schnellerem Gehen macht man also schnellere und größere Schritte.

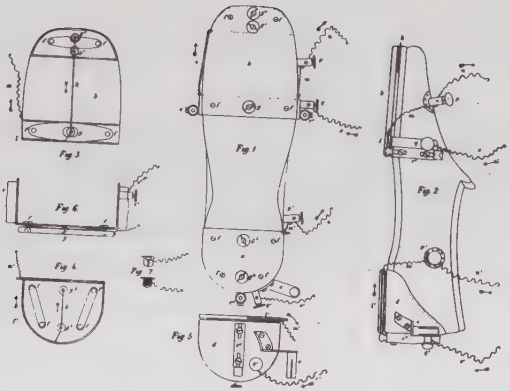


Abb. 10

Schuh zur Registrierung der Stützphase der Ferse und des Ballens (VIERORDT)

Die s e i t l i c h e S p r e i z w e i t e der Füße wird von VIERORDT mit durchschnittlich 81 mm als Abstand der beiden Fersenmitten von der Gangrichtung bestimmt. Die Winkelstellung der Füße als Winkel zwischen der Längsachse des Fußes und der Gangrichtung beträgt durchschnittlich links $16,2^{o}$ und rechts $15,2^{o}$.

Bei einem bequemen Schritt (also bei einer Schrittlänge von 60 - 70 cm) beträgt die Dauer der Stützphase etwa 0,67 sec. Der Zeitunterschied zwischen dem Aufsetzen der Ferse und dem Aufsetzen des Ballens beträgt beim langsamen Gehen 0,1 sec und beim schnellen Gehen o,o4 sec. Die Dauer des Aufstützens der ganzen Fußsohle auf den Boden beträgt beim langsamen Gehen 1,04 sec und beim schnellen Gehen 0,17 sec. Die Dauer der Doppelstützphase beträgt beim langsamen Gehen 0,48 sec und beim schnellen Gehen 0,01 sec.

M A R E Y, Etienne Jules

Le mouvement (1894)

Versuchspersonen

MAREY gibt lediglich an, daß seine Versuche an mehreren gut trainierten Personen durchgeführt worden seien.

Meßgeräte und Meßmethoden

1. MAREY benutzte hauptsächlich die Fotographie (DAGUERRE,1839). Er entwickelte eine Methode, mit der er Weg und Zeit gleichzeitig messen konnte. Er nannte diese Methode Chronofotographie. Dabei unterschied er eine Chronofotographie auf unbeweglicher und eine Chronofotographie auf beweglicher Platte

Eine schwarz gekleidete Versuchsperson ging von der Sonne beleuchtet vor der Öffnung eines dunklen Raumes einher. MAREY nahm von der Versuchsperson mehrere Bilder auf eine Fotoglasplatte auf. Als Verschluß diente eine geschlitzte Scheibe, die schnell und gleichmäßig vor der Kameraöffnung rotierte. Damit erhielt er Belichtungszeiten von 1/2oo sec. Um Weg und Zeit messen zu können, fotographierte er ein Metermaß und einen von einem Uhrwerk angetriebenen Zeiger mit. Um Überschneidungen zu vermeiden, reduzierte er das Bild seiner Versuchsperson, indem er die schwarz angezogene Versuchsperson mit hellen Linien versah, die dann allein zur Abbildung kamen. Dieses Verfahren bildet die Hauptgrundlage seiner Messungen. Er nannte es g e o m e t r i s c h e C h r o n o f o t o g r a p h i e (Abbildung 11). Mit Hilfe dieser Methode versuchte er auch eine Berechnung der beim Gehen und Laufen entstehenden Arbeit zu erzielen.

Die Chronofotographie auf beweglicher Platte entwickelte er aus dem " astronomischen Revolver " von JANSSEN, der alle 70 sec eine Aufnahme machen konnte. MAREY schuf daraus seine fotographische Flinte. Mit ihr konnte er 12 Aufnahmen pro Sekunde machen, mit einer Belichtungszeit von 1/720 sec. Später benutzte er Celluloidstreifen auf beweglichen Spulen und erreichte 60 Bilder pro Sekunde. Die Chronofotographie auf beweglicher Platte benutzte er hauptsächlich für Tieraufnahmen, besonders Vogelflugaufnahmen.

2. MAREY verwandte zur Registrierung der Stützphase eine nach ihm benannte Kapsel, das heißt einen in der Sohle unterge-

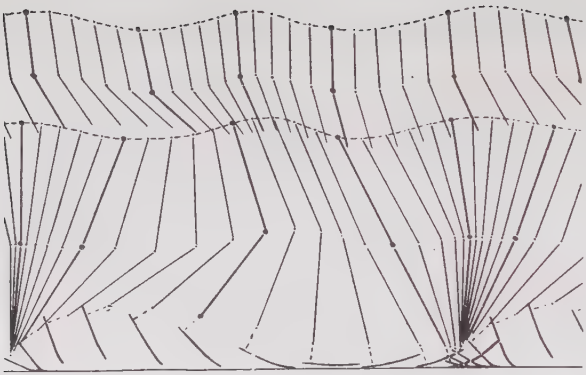


Abb. 11

Geometrische Chronofotographie
(MAREY)

brachten luftgefüllten Raum, der über einen Gummischlauch mit einem Kymographen verbunden war. Er konnte damit nur den Ballenauftritt messen, aber nicht die gesamte Stützphase des Fußes erfassen.

3. Zur Messung des Druckes diente eine Druckplatte. Auf einer Eichenplatte waren 9 spiralisch aufgewickelte luftgefüllte Gummischläuche montiert. Alle Spiralen waren mit einem Schlauch verbunden, der zum Kymographen führte. Darüber lag ein Brett, auf dem die Versuchsperson stand. Beim Sprung bestimmte MAREY gleichzeitig den Druck auf den Boden und die Sprunghöhe. Die Versuchsperson sprang auf einer Druckplatte und trug dabei auf dem Kopf eine Kappe, an der ein gespannter Gummifaden befestigt war, der zur Messung der Höhe diente. Alle Größen wurden auf denselben Kymographen übertragen. Bei gleichzeitiger Anwendung von Druckplatte und geometrischer Chronofotographie, konnte er den Druck auf den Boden für die jeweiligen Fußstellungen beim Abrollen bestimmen.

4. Zur Messung der Ganggeschwindigkeit und der mittleren Schrittlänge bei gegebener Schrittfrequenz wurde folgende Versuchsanordnung benutzt: Die Versuchsperson lief auf einer 500 m langen runden Bahn. Alle 50 m berührte sie einen Stab, der die Unterbrechung eines Stromkreises bewirkte. Die Verbindungslinie, der hierdurch auf der Trommel des Kymographen entstandenen Stufen, ergab die Kurve der Geschwindigkeit. Um die Anzahl der Schritte festzulegen, wurde eine Hammerglocke aufgestellt, nach deren Schlägen

sich der Läufer in seiner Frequenz richten mußte. Da die Schrittfrequenz und die Länge der durchlaufenen Strecke bekannt waren, konnte die mittlere Schrittlänge daraus berechnet werden.

Ergebnisse

1. Fußfolge beim Gehen und Laufen.

MAREY meint, daß beim Gang des Menschen ein Fuß nach dem anderen aufgesetzt wird und nur beim Treppensteigen und beim Tragen von Lasten für kurze Zeit eine Doppelstützphase besteht. Dieses Ergebnis erklärt sich wohl aus der Tatsache, daß er nur das Auftreten mit dem Ballen bestimmt hat. Er sagt, daß beim Laufen eine Flugphase bestehe, aber auch ausnahmsweise beide Füße gleichzeitig den Boden berühren könnten.

2. Bewegungsanalysen des Weitsprunges (Abbildung 12) und des Stabweitsprunges.

Beim Weitsprung erwirbt der Springer durch den Lauf die nötige Geschwindigkeit für die Phasen in der Luft. Im Augenblick des Absprunges wird das Sprungbein fest gestreckt. Gleichzeitig werden die Arme gehoben. In der nächsten Phase gehen die Arme noch weiter nach oben, die Beine werden gespreizt. Dann folgt eine Senkung der Arme. Die Beine kommen mehr und mehr nach vorne und schließlich setzen sie mit dem Absatz zuerst auf und zwar vor der Schwerelinie des Körpers, um einen Fall nach vorne zu verhindern. Anschließend werden die Beine gebeugt, um den Schwung abzufangen.

Beim Stabweitsprung setzt der Springer den Stab zur gleichen Zeit auf, in der er sich durch eine starke Streckung des Bei-

Abb. 12

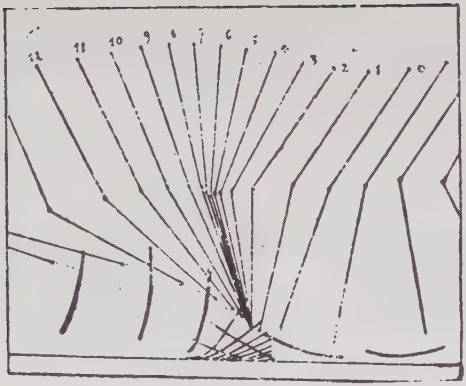
Bewegungsphasen beim Weitsprung

(MAREY)

nes vom Boden abhebt. Diese Kombination von senkrechtem Impuls und horizontaler Geschwindigkeit bewirkt, daß der Körper einen Kreis beschreibt, dessen Radius der Stab ist. Der Springer wird also im gleichen Abstand wieder aufkommen, wie er abgesprungen ist. Noch weiter kann er springen, wenn er sich in dem Augenblick, in dem er sich in der Vertikalen befindet, mit den Armen nach oben zieht und seinen Körper in eine fast horizontale Richtung bringt.

3. Mit dem Gesetz der Brüder WEBER, daß mit zunehmender Schrittfrequenz Schrittlänge und Ganggeschwindigkeit anwachsen, stimmt MAREY grundsätzlich überein. Er meint aber, daß bei einer Schrittfrequenz von 75 Schritten pro Minute die Schrittlänge kleiner wird. Bei 85 Schritten pro Minute, nimmt auch die Ganggeschwindigkeit ab, trotz steigender Schrittfrequenz.

4. Mit Hilfe seines pneumatischen Dynamographen stellt er fest, daß die Druckkurve des Fußes während der Stützphase eine zweigipflige Kurve ergibt. Zur gleichen Zeit aufgenommene chronofotographische Aufnahmen lassen die Beziehungen zur jeweiligen Fußstellung erkennen (Abbildungen 13 und 14).
Beim Aufkommen der Ferse steigt der Druck rasch an, sinkt beim Abrollen über die Fußsohle ab, um beim Abstoßen des Fußballens wieder ein Maximum zu erreichen.
Beim Hochsprung mißt MAREY gleichzeitig die Sprunghöhe und die Abstoßkraft. Es ergibt sich, daß für die Sprunghöhe nicht nur die Größe der Abstoßkraft entscheidend ist, sondern auch die Zeitdauer, in der diese Kraft wirkt. Entscheidend ist also der Bewegungsimpuls. Es errechnet sich, daß die Sprunghöhe dem Quadrat des Impulses proportional ist (Abbildung 15).



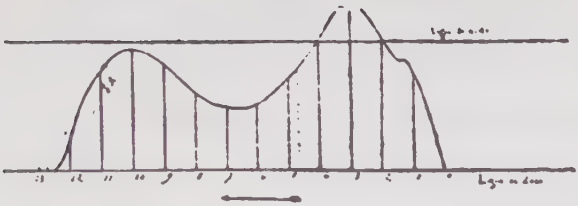


Abb. 13 und 14

Zuordnung der einzelnen Phasen beim Fußabrollen zur Druckkurve des Fußes.

(MAREY)

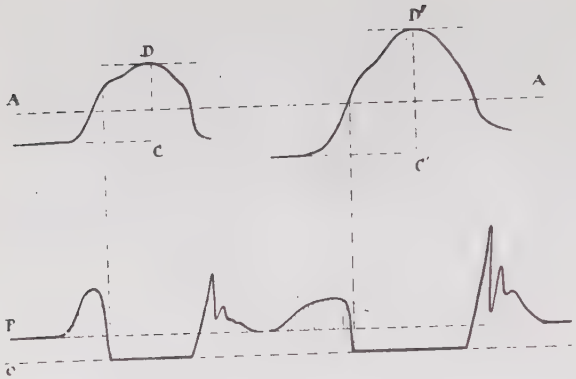


Abb. 15

Gleichzeitige Aufzeichnungen der Sprunghöhe und des Impulses (schraffierte Linie) (MAREY)

5. MAREY berechnet die beim Gehen und Laufen entstehende Arbeit. Grundlage der Berechnung bilden die Werte, die mit Hilfe der geometrischen Chronofotographie erhalten werden können. Er teilt die Arbeit in drei Komponenten ein:

a) Bei jeder Hebung und jeder Senkung des Körperschwerpunktes wird positive und negative Arbeit geleistet. Da man annehmen kann, daß die Bewegungen des Kopfes dem Körperschwerpunkt entsprechen, ist dieser Teil der geleisteten Arbeit das Produkt aus Körpergewicht und der Vertikalbewegung des Kopfes.

b) Ein anderer Teil der Arbeit wird bei Änderung der Geschwindigkeit in horizontaler Richtung geleistet.

c) Eine weitere Arbeit entsteht bei der Bewegung der unteren Gliedmaßen. MAREY meint, daß es sich hierbei um zwei Pendel handelt, die End an End aneinandergefügt seien. Um die Arbeit berechnen zu können, muß man das Trägheitsmoment der unteren Gliedmaßen im Verhältnis zu ihrer Rotationsachse bestimmen. Dann muß man an Hand der geometrischen Aufzeichnungen die Größe der Winkelgeschwindigkeit messen.

Beim langsamen Gehen betrug die Arbeit 720 mkg in 1 Minute und bei schnellem Lauf 6748 mkg in 1 Minute. MAREY gibt nicht an, wie er im Einzelnen zu diesen Zahlen gekommen ist. Sie sollen ein Maximum darstellen, da bei Hebung des Körperschwerpunktes eine potentielle Energie gespeichert wird, die in der nachfolgenden Phase als kinetische Energie wieder frei wird.
Die einzelnen Elemente der Arbeit wachsen nicht im gleichen Maße wie die Geschwindigkeit. Die Arbeit, die bei der Vertikalbewegung entsteht, wächst beim Gehen bis zu einer Schritt-

frequenz von etwa 70 Schritten pro Minute. Bei größerer Schrittfrequenz nimmt sie wieder ab. Beim Laufen ist die Arbeit für die Vertikalbewegung beim langsamen Tempo immer größer als bei schnellem Tempo. Die anderen beiden Komponenten der Arbeit, das sind die horizontale Geschwindigkeitsänderung und die Arbeit durch die Bewegung der unteren Gliedmaßen, wachsen ziemlich genau mit zunehmender Geschwindigkeit. Allerdings gilt für die Arbeit durch die Bewegung der unteren Gliedmaßen, daß dieser Arbeitsanteil bei gleicher Geschwindigkeit im Laufen geringer ist als im Gehen.

R I C H E R, Paul

La station et la marche chez l'homme sain et les malades myopathiques (1894)
Physiologie artistique de l'homme en mouvement (1895)

Versuchspersonen und Meßgeräte

Die Zahl der Versuchspersonen und der ausgewerteten Schritte wird nicht angegeben. RICHER benutzt zur Auswertung chronofotographische Aufnahmen von LONDE.

Ergebnisse

Er teilt den Schritt in eine Doppelstützphase und in eine Einzelstützphase ein. Er teilt ferner die Stützphase ein in einen hinteren Schritt, einen Augenblick in der senkrechten Belastung und einen vorderen Schritt (Abbildung 16).
Beim G e h e n wird das Bein auf dem Boden mit dem Absatz in Streckstellung aufgesetzt. Es folgt eine Beugung im Kniegelenk und dann wieder eine Kniegelenkstreckung. Während der

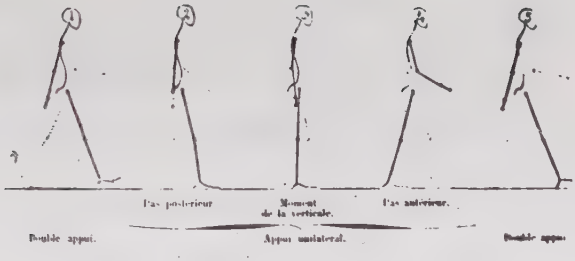


Abb. 16

Die einzelnen Phasen des Schrittes

(RICHER)

Doppelstützphase wird das Kniegelenk wieder leicht gebeugt und erst wieder kurz vor dem Aufsetzen des Beines gestreckt.
Die R u m p f h e b u n g wird mit 3 - 4 cm angegeben. Die Minima entsprechen der Doppelstützphase. Die Maxima der Mitte der Einzelstützphase. Der Rumpf bewegt sich gleichzeitig auch seitlich in horizontaler Richtung zur Seite des tragenden Beines. Das Maximum liegt ebenfalls in der Mitte der Einzelstützphase. Der Körper neigt sich ferner während des vorderen Schrittes nach vorne und während des hinteren Schrittes nach hinten. Die Bewegungen von Schultergürtel und Becken werden als gegenläufig bezeichnet.
Beim L a u f e n gibt es anstelle der Doppelstützphase eine Flugphase. Bei zunehmender Geschwindigkeit wächst die Flugphase und die Einzelstützphase wird kürzer. Das Bein wird beim Laufen niemals vollkommen gestreckt. Der Fuß erreicht den Boden mit der ganzen Sohle. Der Rumpf hat seine maximale senkrechte Erhebung während der Flugphase. Mit zunehmender Laufgeschwindigkeit nehmen die vertikalen und horizontalen Schwingungen des Rumpfes ab. Die Arme schwingen beim Laufen höher und sind stärker gebeugt als beim Gehen.

B R A U N E, Wilhelm und F I S C H E R, Otto

Der Gang des Menschen I. Teil (1895)

F I S C H E R, Otto

Der Gang des Menschen II. - VI. Teil (1899 - 1904)

Versuchspersonen

FISCHER machte seine Untersuchungen an einem Infanteristen von 167 cm Körperlänge, 87 cm Beinlänge und einem Gewicht von

58,7 kg. Ferner ließ er 111 Versuchspersonen - 103 Soldaten und 8 Studenten - 1000 m hin= und zurückgehen, um die durchschnittliche Schrittdauer und Schrittlänge zu messen.

Meßgeräte und Meßmethoden

Er beschränkte sich bei seinen langjährigen Untersuchungen auf die kinematographische Bildanalyse mit Hilfe der Chronofotographie, wie sie vor ihm schon MAREY (1894) angewandt hatte.

Zur Sichtbarmachung des Körpers und seiner Gliedmaßen wurden 11 Geißlerröhren an der Längsachse des Körpers befestigt, und zwar am Kopf, Oberarm, Unterarm, Oberschenkel, Unterschenkel und Fuß. An den Röhren wurden die Projektionen der Gelenkmittelpunkte und die Lage der Schwerpunkte durch Anbringung von schwarzen Ringen markiert, das heißt die Lichtausstrahlung wurde dort unterbrochen. Die Hochspannung wurde mit Hilfe eines Rumkorff-Induktors erzeugt. Unterbrochen wurde der Stromkreis durch die Schwingungen einer Stimmgabel mit dem Kammerton a = 26,09 Schwingungen pro Sekunde. Als Bezugssystem wurde nachträglich ein graduiertes Koordinatennetz auf die Platte fotographiert. Es wurden 4 Fotoapparate benutzt: 2 Apparate standen einander gegenüber, ihre optische Achse lag senkrecht zur Gangrichtung. Sie zeigten den gehenden Menschen im Profil. Die optischen Achsen der beiden anderen Apparate schlossen sowohl untereinander, als auch zu den optischen Achsen der erstgenannten Apparate , einen Winkel von 60^{o} ein (Abbildung 17). Der Drehpunkt aller optischen Achsen befand sich in einem Punkt, der 90 cm über dem Boden lag. Die Armierung der Ver-

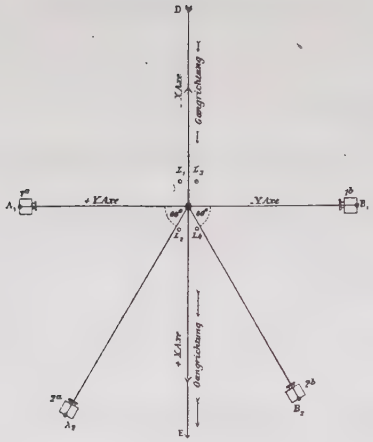


Abb. 17

Aufstellung der Fotoapparate

(FISCHER)

suchsperson dauerte 6 bis 8 Stunden. Die Versuche mußten nachts durchgeführt werden, da keine ausreichende Verdunklungsmöglichkeit des Raumes bestand. Die Versuchsperson legte 2 Gehstrecken ohne Gepäck und eine Gehstrecke in feldmarschmäßiger Ausrüstung zurück. Die Versuchsstrecke betrug 9 m. Die mittleren 3 - 4 Schritte wurden aufgenommen. Die Versuche wurden mehrmals wiederholt und schließlich wurden aus 3 Serien je 3 Schritte ausgewählt. Aus diesen 3 Serien wurde je 1 Doppelschritt mit 31 Phasen ausgewertet. FISCHER bestimmte auf dem mitfotographierten Koordinatensystem die Koordinaten in den 4, zu den einzelnen Apparaten gehörenden Bildebenen. Danach berechnete er die Raumkoordinaten x, y, z. Da die tatsächliche Gangrichtung, die der Mann einschlug, nicht mit der ursprünglich vorgesehenen übereinstimmte, mußten diese Koordinaten entsprechend transformiert werden. FISCHER führte insgesamt 6696 Messungen durch. Sie bilden die Grundlage seiner zahlreichen Berechnungen.
Er hat also folgende Parameter des Ganges bestimmt:
Schrittlänge, Schrittdauer, Einzelstützphase, Doppelstützphase, Schwungphase, Bahnkurven des Kopfscheitelpunktes, der queren Schultergelenkachse, der queren Hüftgelenkachse und der Gelenkmittelpunkte.

Ergebnisse

Auf Grund von Messungen der Schrittdauer und der Schrittlänge bei 103 Soldaten und 8 Studenten ergab sich, daß die sogenannten Wanderschritte nur wenig voneinander unterschieden waren. FISCHER glaubte deshalb mit der Auswertung von jeweils einem Doppelschritt in 3 Versuchen ein allgemeingültiges Ergebnis zu erhalten.

Im ersten Versuch betrug die Schrittlänge 78 cm, im zweiten Versuch 77 cm und im dritten Versuch 72 cm. Die übrigen Werte waren für die beiden ersten Versuche ohne Belastung gleich: Schrittdauer 0,498 sec - Einzelstützphase 0,575 sec - Doppelstützphase 0,077 sec - Schwungphase 0,422 sec.

1. Bewegungsablauf der einzelnen Körperteile beim Gehen:

Der K o p f beschreibt eine Bahn in senkrechter und horizontaler Richtung. Es entsteht eine sinusförmige Wellenlinie. Die Höhe dieser Wellenlinie beträgt etwa 5,5 cm und die Breite 3,5 cm.

Die q u e r e S c h u l t e r g e l e n k a c h s e und die q u e r e H ü f t g e l e n k a c h s e bewegen sich beim Gehen in entgegengesetzten Richtungen. Geht ein Schultergelenk nach hinten und oben, so geht das gleichseitige Hüftgelenk nach vorne und unten. Nimmt man den Mittelpunkt der queren Hüftgelenkachse als feststehend an, dann führt der Mittelpunkt der Hüftgelenke Exkursionen von 2,5 cm in horizontaler und 0,5 cm in senkrechter Richtung aus. Die Schwingungen der Mittelpunkte der Schultergelenke betragen relativ zum Mittelpunkt der queren Hüftgelenkachse 2,1 cm in horizontaler und 0,6 cm in senkrechter Richtung. Abbildung 18 zeigt die Bewegungen des Kopfes, der Schulter und der Hüfte in senkrechter und seitlicher Richtung.

Als R u m p f l i n i e wird die Verbindungslinie zwischen den Mittelpunkten der queren Hüftgelenkachse und der queren Schultergelenkachse bezeichnet. Der Mittelpunkt der queren Hüftgelenkachse wird als feststehend angenommen. Dann bewegt sich der Mittelpunkt der queren Schultergelenkachse relativ zu

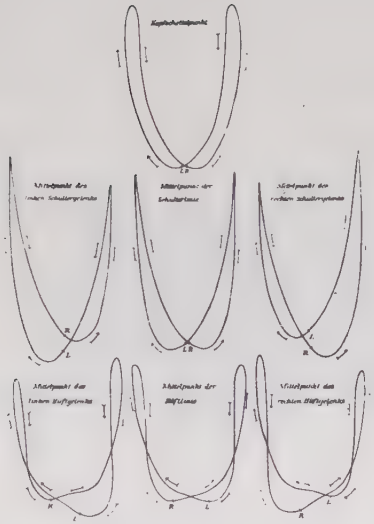


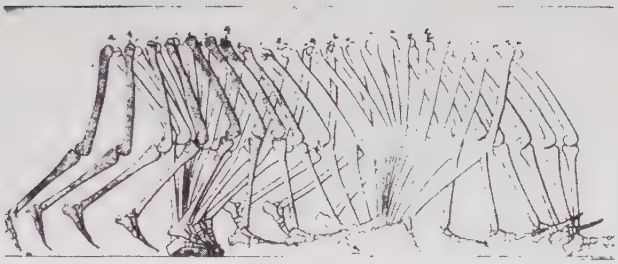
Abb. 18

Bewegungen des Kopfes, der Schulter (Mittelpunkt des linken Schultergelenks, Mittelpunkt der Schulterlinie, Mittelpunkt des rechten Schultergelenks) und der Hüfte (Mittelpunkt des linken Hüftgelenks, Mittelpunkt der Hüftlinie, Mittelpunkt des rechten Hüftgelenks) in senkrechter und seitlicher Richtung.

(FISCHER)

diesem Festpunkt um 1,5 cm zur Seite (rechts und links) und um 2,5 cm nach vorne, beziehungsweise nach hinten.
Die Bewegungen der B e i n e sind in Abbildung 19 dargestellt. Nimmt man das Hüftgelenk als Drehpunkt an, so hat der Oberschenkel am Ende der Schwungphase seine stärkste Neigung nach vorne und am Ende der Stützphase seine größte Neigung nach hinten. Senkrecht steht der Oberschenkel bald nach Beginn der Schwungphase und in der Mitte der Stützphase. Die Vorwärtsführung verläuft am Anfang der Schwungphase am schnellsten. Am Kniegelenk erfolgt eine Kniebeugung vom Ende der Stützphase bis zur Mitte der Schwungphase und vom Ende der Schwungphase bis zum ersten Drittel der Stützphase. Eine Kniegelenkstreckung findet statt von der Mitte der Schwungphase bis fast ans Ende der Schwungphase, sowie vom ersten Drittel bis nahezu ans Ende der Stützphase. Kurz vor dem Abheben des Beines vom Boden ist also das Bein leicht gebeugt.

2. Es wird der W e g der 3 Glieder des Beines in der Schwungphase des Beines als Winkel bestimmt, den die Längsachse des betreffenden Gliedes mit der Senkrechten bildet. Daraus werden die W i n k e l g e s c h w i n d i g k e i t e n und die W i n k e l b e s c h l e u n i g u n g e n der 3 Glieder des Beines berechnet. Das Bein hat eine positive Winkelgeschwindigkeit, wenn sich seine Längsachse mit dem distalen Ende relativ zur Senkrechten nach vorne bewegt. Das Bein hat eine negative Winkelgeschwindigkeit, wenn sich seine Längsachse relativ zur Senkrechten nach hinten bewegt. Für die Beschleunigung gilt das Entsprechende.



Bewegungen des Beines beim Gehen.

(FISCHER)

Allgemein wird ausgesagt: Bei einem Maximum des Winkels wird die Geschwindigkeit 0 (Wendepunkt). Bei einem Maximum der Winkelgeschwindigkeit wird die Winkelbeschleunigung gleich 0. Die größten positiven und negativen Werte der Winkelgeschwindigkeiten und der Winkelbeschleunigungen während der Schwungphase (Gesamtdauer 0,422 sec) sind in folgender Tabelle zusammengefaßt:

Rechter Oberschenkel:	
Größtes pos. Max. d.Winkelgeschwindigkeit nach	0,04 sec
Größtes neg. Max. d.Winkelgeschwindigkeit nach	0,32 sec
Größtes pos. Max. d.Winkelbeschleunigung nach	0,36 sec
Größtes neg. Max. d.Winkelbeschleunigung nach	0,29 sec
Rechter Unterschenkel:	
Größtes pos. Max. d.Winkelgeschwindigkeit nach	0,36 sec
Größtes neg. Max. d.Winkelgeschwindigkeit nach	0,06 sec
Größtes pos. Max. d.Winkelbeschleunigung nach	0,41 sec
Größtes neg. Max. d.Winkelbeschleunigung nach	0,39 sec
Rechter Fuß:	
Größtes pos. Max. d.Winkelgeschwindigkeit nach	0,27 sec
Größtes neg. Max. d.Winkelgeschwindigkeit nach	0,00 sec
Größtes pos. Max. d.Winkelbeschleunigung nach	0,03 sec
Größtes neg. Max. d.Winkelbeschleunigung nach	0,33 sec

3. FISCHER berechnet die E f f e k t i v k r ä f t e der Drehmomente für Oberschenkel, Unterschenkel und Fuß. Aus den Diagrammen ist ersichtlich, daß die Drehmomente ihr negatives, nach hinten gerichtetes Maximum im ersten Drittel und ihr positives, nach vorne gerichtetes Maximum im letzten Drittel der Schwungphase besitzen. Der Vergleich der Drehmomente der Schwere mit dem Drehmoment der Muskelkräfte zeigt, daß sowohl die positiven Maxima, wie die negativen

Maxima der ~~der~~ Drehmomente der Muskeln größer sind als die der Schwere. Die Muskeln sind also am Zustandekommen der Schwungphase stärker beteiligt als die Schwere. FISCHER widerlegt damit die Theorie der Brüder WEBER, daß die Schwungphase des Beines eine reine Pendelbewegung sei.
Er erkennt, daß die exakte numerische Berechnung des dreigliedrigen Beinpendels nicht möglich ist

Methoden zur Bestimmung des Körperschwerpunktes

FISCHER benutzte zur Bestimmung der Einzelschwerpunkte 3 gefrorene Leichen. Dadurch wurden Fehler vermieden, die durch die Weichheit der Gewebe entstehen könnten.

1. Methode zur Bestimmung des Körperschwerpunktes aus den Einzelschwerpunkten:
   Hierfür mußten zunächst die Einzelschwerpunkte festgelegt werden. Der Körper und seine Einzelteile wurden in 3 zueinander senkrecht stehenden Achsen aufgehängt und mit Hilfe von Loten wurde jeweils die Schwerelinie in einer Ebene ermittelt. Der Schnittpunkt dieser 3 Linien ergab die Lage des Einzelschwerpunktes. Die Einzelschwerpunkte hatten im Durchschnitt folgenden prozentualen Abstand vom proximalen und distalen Gelenkmittelpunkt.

	proximal		distal
Oberarm	0,47	:	0,53
Unterarm	0,42	:	0,58
Unterarm und Hand	0,47	:	0,53
Oberschenkel	0,44	:	0,56
Unterschenkel	0,42	:	0,58

	proximal		distal
Fuß	0,43	:	0,57
Rumpf (Schulterlnie-Hüftlinie)	0,53	:	0,47
Kopf (Scheitel-Schulterlinie)	0,70	:	0,30

Außerdem mußten die Massen der einzelnen Körperteile bestimmt werden. Die angegebenen Zahlen sind Verhältniszahlen. Sie betragen im Mittel:

ganzer Körper	10000
Kopf	706
Rumpf	4270
Oberschenkel	1158
Unterschenkel	527
Fuß	179
Oberarm	339
Unterarm	228
Hand	84

Für die Berechnung und die Konstruktion des Körperschwerpunktes ging FISCHER von dem allgemeinen Lehrsatz aus, daß der Schwerpunkt zweier Massen deren Verbindungslinie im umgekehrten Verhältnis der Massen teilt.

Für die B e r e c h n u n g des Körperschwerpunktes aus den Einzelschwerpunkten erhielt er die Koordinaten des Körperschwerpunktes, indem er die Produkte aus den Massenverhältniszahlen und der x-Koordinaten der einzelnen Glieder addierte. Auf gleiche Weise erfolgte die Berechnung der y- und z-Koordinaten.

Die K o n s t r u k t i o n des Körperschwerpunktes aus den Einzelschwerpunkten zeigen die Abbildungen 20 und 21. FISCHER stellte ein Scherengitter her, das die Lage des

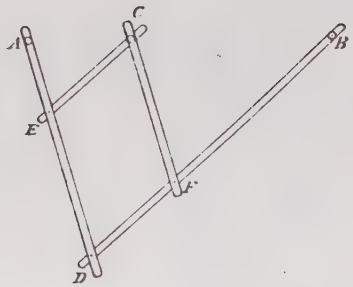


Abb. 20

Scherengitter zur Bestimmung des Körperschwerpunktes (FISCHER)

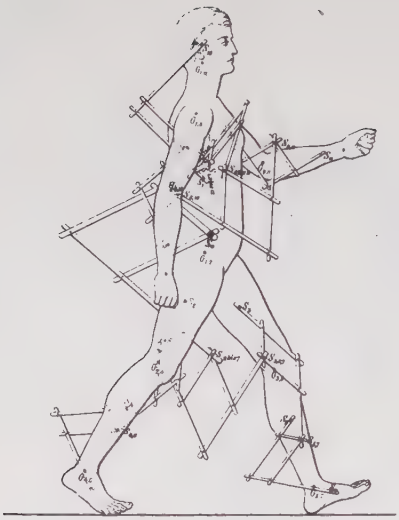


Abb. 21

Gelenkmechanismus, der sich aus einzelnen Scherengittern zusammensetzt zur Bestimmung des Körperschwerpunktes.

(FISCHER)

Körperschwerpunktes angeben konnte. Jeder Einzelmechanismus bestand aus 4 Stäben AD, DB, EC und CF. Werden die Punkte A und B gelenkig an den Schwerpunkten zweier Körper angebracht, so zeigt der Punkt C ihren gemeinsamen Schwerpunkt an. Die beiden Stäbe AD und DB werden von den Punkten E und F im umgekehrten Verhältnis der Massen der beiden Körper geteilt. Die Länge der Stäbe AD und DB kann dabei willkürlich gewählt werden.

2. Bestimmung des Körperschwerpunktes nach der Hauptstreckenmethode:

Der Hauptpunkt eines Körperteiles ist der gemeinsame Schwerpunkt aus drei Massen:

a) der Masse des Gliedes selbst

b) der Summe der Massen der Körperteile, die mittelbar und unmittelbar an den proximalen Gelenkmittelpunkt angrenzen.

c) die Summe der Massen, die mittelbar oder unmittelbar an den distalen Gelenkmittelpunkt angrenzen.

Als Hauptstrecke wird die Entfernung des Hauptpunktes vom distalen, beziehungsweise proximalen Gelenkmittelpunkt bezeichnet. Die Hauptpunkte teilen die Längsachsen der einzelnen Körperteile in einem bestimmten Verhältnis.

	von oben		von unten
Oberschenkel	0,122	:	0,878
Unterschenkel	0,040	:	0,960
Fuß	0,018	:	0,982
Oberarm	0,047	:	0,953
Unterarm und Hand	0,021	:	0,979
Rumpf (Schulterlinie-Hüftlinie)	0,549	:	0,451
Kopf (Scheitel-Schulterlinie)	0,951	:	0,049

Für die B e r e c h n u n g des Körperschwerpunktes aus den Hauptpunkten und Hauptstrecken kann man mit einem beliebigen Hauptpunkt beginnen. Fängt man mit dem Hauptpunkt des Rumpfes an, so muß man von den Koordinaten der 11 übrigen Hauptpunkte die jeweiligen Koordinaten der zugehörigen proximalen Gelenkmittelpunkte abziehen. Addiert man die so erhaltenen Differenzen zur Koordinate des Rumpfhauptpunktes, so erhält man die Koordinate des Körperschwerpunktes. Man hat auf diese Weise den Körperschwerpunkt in einer Ebene bestimmt. Für die beiden anderen Ebenen ist die Berechnung entsprechend.

Für die K o n s t r u k t i o n des Körperschwerpunktes aus den Hauptpunkten und Hauptstrecken geht man von einem beliebigen Hauptpunkt aus und fügt alle Hauptstrecken, die diesem Hauptpunkt zugekehrt sind, aneinander. Dabei müssen die Hauptstrecken ihre im Körper innegehabte Richtung beibehalten.

Ergebnisse

Der Körperschwerpunkt liegt im Stehen 57 % der Körperlänge über dem Boden. Bei einer 167 cm großen Versuchsperson liegt er also 95,19 cm über dem Boden.

Der Körperschwerpunkt führt in jeder Richtung kleinere Exkursionen aus, als irgend ein anderer Punkt des menschlichen Körpers. Die Bahn des Körperschwerpunktes in 3 Ebenen ist in Abbildung 22 dargestellt.

Abbildung 23 zeigt die Wegkurven, Geschwindigkeitskurven und Beschleunigungskurven des Körperschwerpunktes.

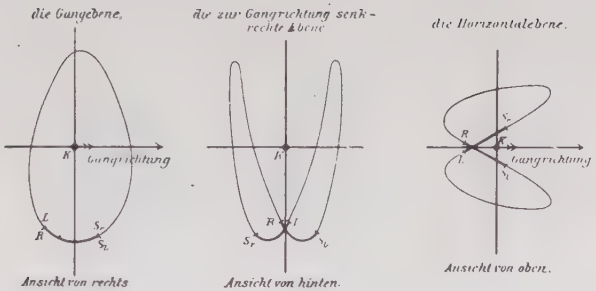


Abb. 22

Die Bahnkurven des Körperschwerpunktes in drei Ebenen.
(FISCHER)

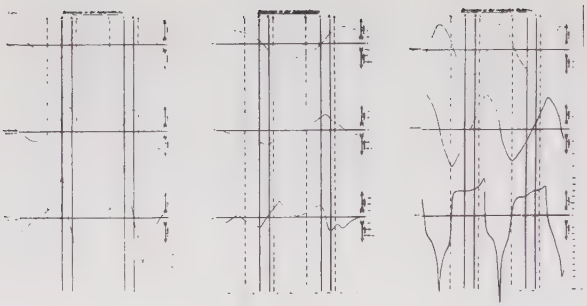


Abb. 23

Wegkurven, Geschwindigkeitskurven und Beschleunigungskurven des Körperschwerpunktes in den 3 Ebenen: in Gangrichtung, in seitlicher Richtung und in senkrechter Richtung.

(FISCHER)

Die maximale Geschwindigkeit des Körperschwerpunktes beim Gehen beträgt 30 cm/sec, die maximale Beschleunigung 450 cm/sec^2. FISCHER hat außer den Geschwindigkeiten und Beschleunigungen des Körperschwerpunktes auch die Geschwindigkeiten und Beschleunigungen der Schwerpunkte der 3 Glieder des Beines bestimmt.

L E I T E N S T O R F E R

Das militärische Training (1897)

Er untersuchte die Kopfbewegung im Stehen. Untersuchungen über den Gang des Menschen wurden nicht durchgeführt. Nach dem Vorbild von VIERORDT hat LEITENSTORFER "Kephalogramme" hergestellt. Über der Versuchsperson wurde ein berußtes Papier horizontal schwebend aufgehängt. Die Helmspitze zeichnete die Bewegungen des Kopfes auf das berußte Papier. LEITENSTORFER stellte fest, daß ein absolutes Stillstehen nicht möglich ist. Die Unruhe ist größer bei Untrainierten und sie wird größer bei Ermüdung und längerem Stehen. Bei straff durchgedrückten Knien ist sie stärker als bei lockerem Stehen.

D U B O I S - R E Y M O N D, R.

Die Grenzen der Unterstützungsfläche beim Stehen (1900)

Spezielle Bewegungslehre mit Überblick über die Physiologie der Gelenke (1909)

DU BOIS-REYMOND gibt einen historischen Überblick über frühere Untersuchungen von WEBER, von MEYER, DUCHENNE, CARLET, VIERORDT, MAREY und LEITENSTORFER.

Er hat eine Schwerpunktswaage angegeben, die später von BASLER verbessert wurde.

F U C H S, R.

Der Gang des Menschen (1901)

Er macht keine eigenen Untersuchungen. Er bringt eine historische Übersicht der Arbeiten von WEBER, von MEYER, CARLET, VIERORDT, MAREY, BRAUNE und FISCHER.
FUCHS teilt im wesentlichen die Ansichten von v.MEYER. Er übt Kritik an den Brüdern WEBER, sowie an BRAUNE und FISCHER.

J E N D R A S S I K, Ernst

Klinische Beiträge zum Studium der normalen und pathologischen Gangarten (1901)

Weitere Beiträge zur Lehre vom Gehen (1904)

Dritter Beitrag zur Lehre vom Gehen (1906)

Versuchspersonen

Die Zahl der Versuchspersonen schwankt zwischen 1 und 8.

Meßgeräte und Meßmethoden

Als Meßgeräte wurden Fotoapparat und Kinematograph benutzt. Mit dem Fotoapparat wurden chronofotographische Aufnahmen gemacht. Auf einer Platte konnten 5 bis 8 Bewegungsphasen mit einer Belichtungszeit von 0,01 bis 0,015 sec festgehalten werden. Nach den Fotographien wurden dann Zeichnungen hergestellt (Abbildung 24). Bei den ersten Versuchen hat JENDRASSIK

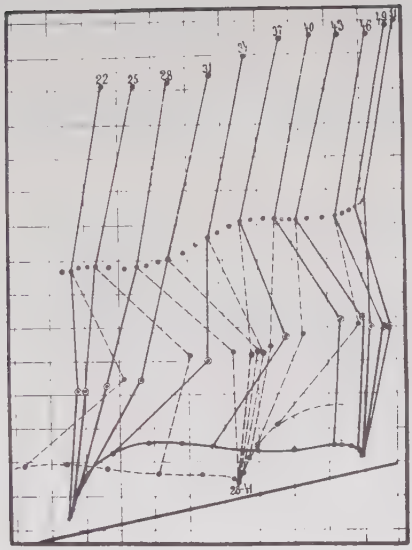


Abb. 24

Kurven des Ganges auf ansteigender Ebene.

(JENDRASSIK)

4 bis 8 Schritte aufgenommen. Später war es ihm möglich, die Fotoplatten zwischen den einzelnen Aufnahmen zu verschieben. Mit dem Kinematographen von LUMIERE erreichte er Belichtungszeiten von 0,008 sec. Er konnte 31 Bilder pro Sekunde machen.

Ergebnisse

Beim G e h e n wird die Fortbewegung durch die Kraft des hinteren abstoßenden Beines erzeugt. Die Beinschwingung wird nicht nur als passive Pendelschwingung durch das Beingewicht, sondern als aktiver Beinschwung durch die Muskulatur aufgefaßt. Eine wesentliche Begründung sieht JENDRASSIK darin, daß man das Bein langsamer und schneller schwingen lassen kann. Wenn der Schwerpunkt des Beines über die Unterstützungsfläche hinausgeht, wirken kinetische Energie und Schwerkraft zusammen. Dann kann die Beinschwingung nicht langsamer ausgeführt werden, als es der Wirkung der Schwerkraft entspricht.
Die Doppelstützphase beträgt beim Gehen 20 % der Schrittdauer, beim Laufen beträgt die Flugphase 35 % der Schrittdauer. Die Schrittlänge zeigt Schwankungen zwischen 18 und 20 %. Das Verhältnis Schrittlänge zur Beinlänge wird mit Werten zwischen 1 : 2 und 1 : 6 angegeben. Beim Laufen beträgt dieses Verhältnis 2 : 1.
Beim B e r g a n g e h e n (Steigung 19^{o}) wird die Doppelstützphase verlängert, Rumpf und Kopf werden nach vorne geneigt (Abbildung 24). Der Körperschwerpunkt bewegt sich so lange in horizontaler Richtung, bis das hintere Bein beginnt den Boden zu verlassen.
Beim B e r g a b g e h e n wird das Kniegelenk der belasteten Extremität auch dann noch gebeugt gehalten, wenn dieses Bein

die Vertikale schon überschritten hat. Der Rumpf wird dabei auffallend vertikal gehalten.
Beim S p r u n g nach oben und vorne stellt JENDRASSIK fest, daß der Körperschwerpunkt nach dem Absprung eine Parabel beschreibt.

D E M E N Y, Georges

Mécanisme et éducation des mouvements (1905)

Versuchspersonen

DEMENY macht einen Großversuch mit 250 Infanteristen (1891), um die Bedeutung der Körpergröße für die Schrittlänge und die Schrittfrequenz festzustellen. Sonst finden sich keine Angaben über die Anzahl seiner Versuchspersonen.

Meßgeräte und Meßmethoden

1. Zur Messung des K ö r p e r s c h w e r p u n k t e s benutzte er eine Art Pendel. Die Versuchsperson lag dabei in einem Gerät, das um zwei zueinander senkrechten horizontalen Achsen schwingen konnte. Es wurde die Stelle markiert, in der das Pendel im Gleichgewicht war, wenn die Versuchsperson darauf lag, was der aufrechten Haltung im Stehen entsprechen sollte. Wenn die Versuchsperson die Lage änderte, so verschob sich auch der Zeiger. Mit Hilfe von aufgelegten Gewichten wurde das Gleichgewicht wieder hergestellt. Durch Berechnung der Drehmomente ließ sich bestimmen um welchen Betrag sich der Körperschwerpunkt durch die Haltungsänderung verschoben hatte.

2. DEMENY bestimmte die Dauer der D o p p e l s t ü t z - p h a s e und die Dauer der Fersenstützphase und der Ballenstützphase mit Hilfe von Metallkontakten, die an der Schuhsohle angebracht waren. Bei der Belastung der Fußsohle kam es zur Schließung eines Stromkreises. Die Speisebatterie der Apparatur wurde in der Tasche, der Kymograph in der Hand getragen.

3. Die s e n k r e c h t e n S c h w i n g u n g e n des Körpers wurden mit Hilfe eines Wagens bestimmt, der beim Gehen mitgeführt wurde.

4. Zur Messung der A b s t o ß k r ä f t e d e s F u s - s e s benutzte er das gleiche Gerät, wie sein Lehrer MAREY, also ein pneumatisches Dynamometer.

5. Den B e w e g u n g s a b l a u f beim Gang und Lauf des Menschen bestimmte DEMENY wie MAREY mit Hilfe der Chronofotographie. Er führte seine Versuche im MAREY'schen Institut aus.

Ergebnisse

1. Gesetzmäßigkeiten beim G e h e n (Abbildung 25).
Der Gang des Menschen ist charakterisiert durch die Doppelstützphase. Im Augenblick des Aufsetzens ist das Bein fast gestreckt und bildet einen Wi nkel mit der Senkrechten. Dann rollt der Fuß vom Boden ab. Etwa 3/5 der Zeit berührt der Fuß den Boden mit der Ferse und etwa 2/5 mit dem Ballen. Das Bein beschreibt während der Fußabrollung einen Winkel von etwa 50^{o}. Dieser Winkel variiert mit der Größe der Schritte. Während das Bein die Senkrechte passiert, ist das

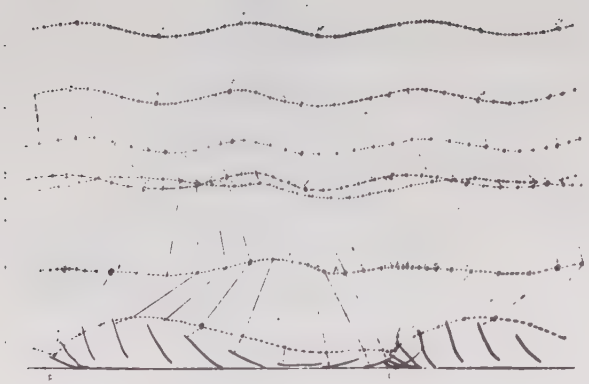


Abb. 25

Chronofotographische Analyse des Ganges.

(DEMENY)

Knie beim langsamem Gang gestreckt und bei schnellem Gang etwas gebeugt. Während der Schwingung ist das Bein umso mehr gebeugt, je kürzer die Schwungphase ist. DEMENY geht davon aus, daß sich in der Stützphase das Bein um das Fußgelenk dreht und in der Schwungphase das Bein sich um das Hüftgelenk dreht. Relative Bewegungen des Beines und des Unterschenkels während der Stützphase und der Schwungphase zeigen die Abbildungen 26 bis 29.

Die mittlere Geschwindigkeit des Fusses wird als doppelt so schnell wie die Geschwindigkeit des Körpers angesehen. Die Geschwindigkeit des Fußes erreicht ihr Maximum im letzten Drittel der Schwungphase.

Wie MAREY sagt DEMENY, daß beim schnellen Gehen die Schrittlänge bis zu einer Schrittfrequenz von etwa 75 pro Minute anwächst. Dann wird die Schrittlänge mit zunehmender Schrittfrequenz wieder kleiner. Beim bequemen Gang hat man eine Schrittfrequenz von 55 - 65 Schritten pro Minute. Bei schnellem Gehen nimmt die Dauer der Doppelstützphase schneller ab als die Gesamtdauer des Schrittes. Müdigkeit verlängert die Dauer der Doppelstützphase. Die Abstoßkraft des Fußes nimmt mit der Schrittfrequenz zu.

Das Maximum der senkrechten Rumpfhebung beträgt 4 - 6 cm und liegt in der Mitte der Stützphase (Abbildung 30). Die quere Hüftgelenkachse senkt sich auf der Seite des schwingenden Beines, die quere Schultergelenkachse verhält sich umgekehrt. Die horizontale Drehung

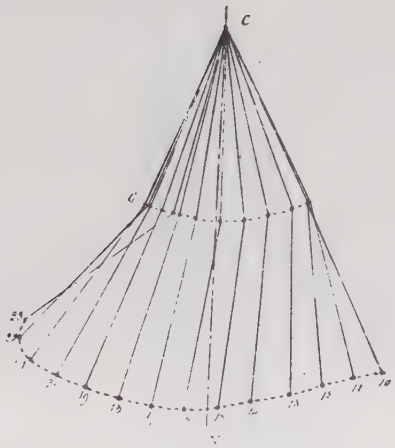


Abb. 26

Relative Bewegung des Beines im Verhältnis zum Rumpf während der Stützphase beim Gang.

(DEMENY)

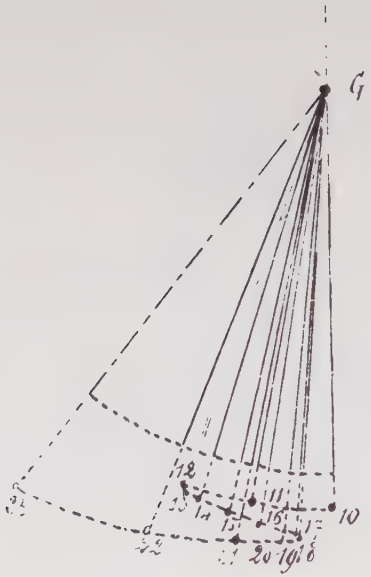


Abb. 27

Relative Bewegung des Unterschenkels im Verhältnis zum Oberschenkel in der Stützphase beim Gang.

(DEMENY)

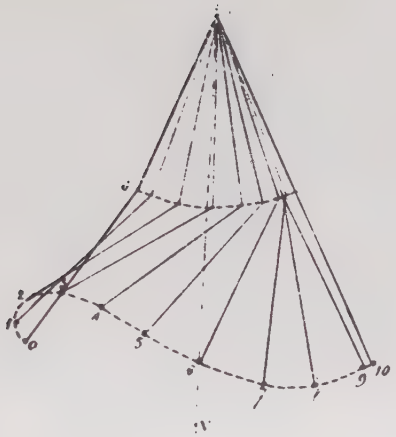


Abb. 28

Relative Bewegung des Beines im Verhältnis zum Rumpf während der Schwungphase beim Gehen.

(DEMENY)

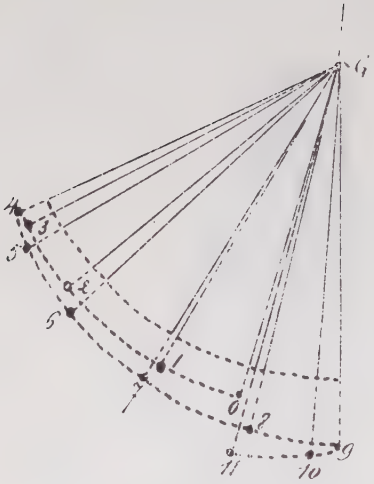


Abb. 29

Relative Bewegung des Unterschenkels im Verhältnis zum Oberschenkel während der Schwungphase beim Gehen.

DEMENY)

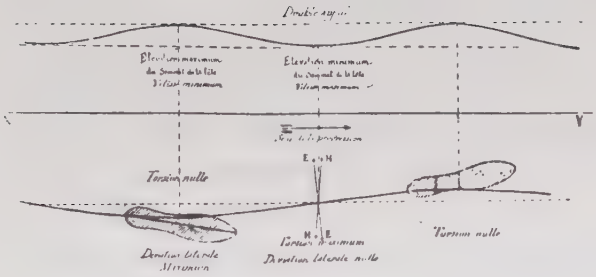


Abb. 30

Bahnkurven des Kopfes während eines Schrittes beim Gehen.

Obere Kurve : in senkrechter Richtung

untere Kurve : in horizontal seitlicher Richtung.

(DEMENY)

der Schulter im Verhältnis zur queren Hüftgelenkachse wird mit 12^{o} angegeben.

Die R u m p f n e i g u n g nach vorne beträgt beim Gang bis 5^{o}. Der Rumpf neigt sich nach vorne während der ersten Hälfte der Stützphase und neigt sich nach hinten während der zweiten Hälfte der Stützphase.

2. Gesetzmäßigkeiten beim L a u f .

Der Lauf unterscheidet sich vom Gang durch die Flugphase. Die Einzelstützphase und die Flugphase wechseln miteinander ab. Die Dauer der Schwungphase des Beines ist gleich der Summe einer Schrittdauer und der Dauer der Flugphase (vergleiche Abbildung 4). Beim Lauf ist die Geschwindigkeit der Fußbewegung relativ zur Körperbewegung kleiner als beim Gang. Beim Übergang vom Gang zum Lauf neigt der Läufer den Körper nach vorne. Das Maximum der vertikalen Rumpfbewegung liegt in der Flugphase.

Beim Lauf werden mit zunehmender Geschwindigkeit folgende Größen geändert: Schrittfrequenz und Schrittlänge steigen - das Kniegelenk wird beim Auftreten mehr gebeugt - der Fuß wird hinten stärker vom Boden abgehoben - die Abstoßkraft des Fußes am Boden wird größer - die vertikalen Bewegungen des Kopfes und des Beckens werden kleiner - die Torsion des Rumpfes wird geringer - die Arme sind stärker gebeugt.

3. Gesetzmäßigkeiten beim S p r u n g .

Der Körperschwerpunkt beschreibt beim Sprung eine Parabel. Die Sprungweite hängt von der Absprunggeschwindigkeit und diese von der Größe des Impulses ab.

4. Bestimmung des K ö r p e r s c h w e r p u n k t e s .

Bei einer 166 cm großen Versuchsperson von einem Gewicht von 63 kg lag der Körperschwerpunkt 0,945 m über dem Boden.

5. Berechnung der beim Gehen und Laufen entstehenden A r b e i t .

Nach den gleichen Methoden wie MAREY berechnet DEMENY die beim Gehen und Laufen entstehende Arbeit. Es werden 3 Arten von Arbeit unterschieden:

a) Arbeit in senkrechter Richtung. Sie berechnet sich als Produkt aus Körpergewicht und Weghebung des Körperschwerpunktes.

b) Arbeit durch die Geschwindigkeitsänderung in horizontaler Richtung. Sie wird berechnet durch Bestimmung der maximalen und minimalen Geschwindigkeiten mit Hilfe der Chronofotographie.

Die lebendige Kraft des Körpers ist:

$$E\ (kin) = \frac{1}{2}\ m\ (\ v_2^{\,2} - v_1^{\,2}\ )$$

c) Arbeit durch die Hebung des Schwungbeines. Sie berechnet DEMENY nach folgender Formel:

$$T = 2\ P\ \frac{A^2}{A_1^2}\ R\ (\ 1 - \cos\ \frac{\alpha}{2}\ )$$

Erklärung:

T = aufgewendete Arbeit während der Schwingung des Beines.
P = Gewicht des Beines
A = Dauer der Eigenschwingung des Beines
A_1 = Dauer der Schwungphase
R = Länge des einfachen Pendels, entsprechend der Beinlänge
α = Winkel, den das Bein während der Hebung beschreibt.

Beim Gang wird zum Beispiel für einen Schritt folgende Arbeit verrichtet:

Hebung des Körperschwerpunktes	6,2 mkg
Änderung der horizontalen Geschwindigkeit	2,5 mkg
Arbeit des Schwungbeines	0,3 mkg
Summe:	9,0 mkg

Beim Lauf erhält DEMENY folgende Werte für die Arbeit eines Schrittes:

Hebung des Körperschwerpunktes	2,3 mkg
Änderung der horizontalen Geschwindigkeit	18,4 mkg
Arbeit des Schwungbeines	3,4 mkg
Summe:	24,1 mkg

L O W E T T, Robert W. und R E Y N O L D S, Edward

Der Schwerpunkt des Körpers. Seine Lage in Bezug auf gewisse Knochenpunkte und seine Beziehungen zum Rückenschmerz (1910)

Versuchspersonen

Die Untersuchungen wurden an 6 weiblichen Versuchspersonen durchgeführt.

Meßgeräte und Meßmethoden

Sie bestimmten zunächst das Gewicht der Versuchspersonen. Sie stellten sie dann auf ein Brett, das an einem Ende von einer Waage unterstützt wurde. Das andere Ende ruhte auf einem festen Stützpunkt. Die Waage zeigte ein Teilgewicht des Körpergewichtes an. Auf Grund einfacher Gleichungen ließ sich nun der Fußpunkt der Schwerelinie bestimmen: Das Körpergewicht der Versuchsperson verhält sich zum gemessenen Teilgewicht wie

die ganze Länge des Brettes zum Abstand zwischen dem festen Unterstützungspunkte des Brettes und dem Fußpunkt der Schwerelinie.

Ergebnisse

Sie fanden, daß die Schwerelinie vor den Achsen der Fußgelenke, Kniegelenke, dem Sacroiliacalgelenk und den meisten Wirbelgelenken verläuft.

B A S L E R, Adolf

Das Gehen (1929)
Über die gewöhnliche Schrittlänge und Geschwindigkeit bei einigen Formen des Gehens (1929)
Der Schwerpunkt des lebenden Menschen (1931)

Versuchspersonen

Die durchschnittliche Schrittdauer und die durchschnittliche Schrittlänge bestimmte BASLER bei 100 Versuchspersonen (Chinesen). Bei den anderen Versuchen wurde keine Personenzahl angegeben. Die angeführten Zahlen stammen offensichtlich von einer Versuchsperson.

Meßgeräte und Meßmethoden

Für die Bestimmung der durchschnittlichen Schrittdauer und Schrittlänge benutzte BASLER ein Fernrohr und eine Stoppuhr. Die Belastungsfläche des Fußes bestimmte er mit der Spiegelmethode von SEITZ: Glasplatte und schräggestellter Spiegel. Den Rückstoßeffekt des Schwungbeines zeigte er mit Hilfe eines kleinen Wagens.

Zur Messung der s e n r e c h t e n A b s t o ß k r a f t und der h o r i z o n t a l e n S c h u b k r a f t benutzte er zwei Apparate, deren Prinzip darin bestand, daß an Bretter angebrachte Gummipuffer zusammengepreßt wurden. Der Verformungsweg wurde auf einen Kymographen übertragen.
Die quantitativen Belastungsverhältnisse des Fußes versuchte er mit dem S a i t e n d y n a m o m e t e r zu bestimmen. Durch den Druck des Fußes wurden einzelne Saiten in verschiedenem Maße gespannt. Von der Tonhöhe dieser gespannten Saiten wurde auf den einwirkenden Druck geschlossen.
Zur Berechnung des Körperschwerpunktes beim lebenden Menschen in verschiedenen Stellungen benutzte er eine S c h w e r p u n k t s w a a g e und ein S c h w e r p u n k t s p e n d e l . Die Schwerpunktswaage (Abbildung 31) bestand aus einem Drahtgitter, auf dem die Versuchsperson stand.Das Drahtgitter war in einem dreieckigen Holzrahmen eingespannt. Unter zwei der drei Ecken befanden sich Personenwaagen. Unter dem Drahtgitter war ein Spiegel angebracht. Aus dem Körpergewicht der Versuchsperson und den Ablesungen der beiden Waagen ließ sich der Fußpunkt der Schwerelinie berechnen. Er wurde anschließend in eine Sohlenskizze eingetragen. Das Schwerpunktspendel (Abbildung 32) war ein pendelnd aufgehängtes Gestell, in dem die Versuchsperson stand. Das Pendel wurde mit einem bestimmten Gewicht aus seiner Ruhelage gebracht. Der Grad der Ablenkung war nur noch von der Höhe des Schwerpunktes abhängig.
BASLER hat versucht, Bewegungsphasen zu filmen. Seine Aufnahmen sind jedoch klein, unscharf und kaum zu verwerten.

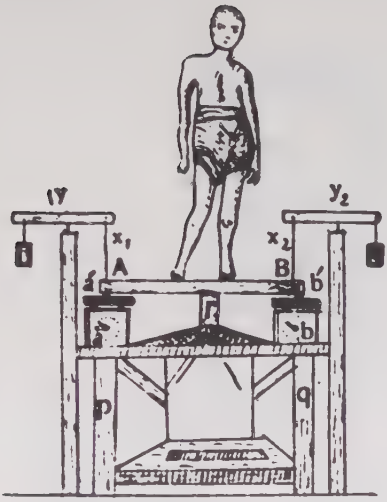


Abb. 31

Schwerpunktswaage

(BASLER)

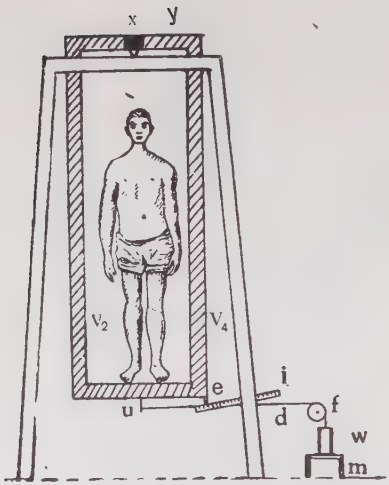


Abb. 32

Schwerpunktspendel

(BASLER)

Er hat folgende Größen gemessen und berechnet: Durchschnittliche Schrittfrequenz, Schrittlänge und Ganggeschwindigkeit - Hauptbelastungspunkte der Fußsohle - Lotkraft und Schubkraft beim Gehen - Lage des Körperschwerpunktes.

Ergebnisse

1. BASLER stellte fest, daß mit zunehmender Geschwindigkeit Schrittlänge und Schrittfrequenz zunehmen.
2. Nach den erhaltenen Werten stellte er Tabellen und grafische Darstellungen auf. Daraus ist ersichtlich, daß das Maximum der Fußbelastung in den Bereich des ersten und zweiten Mittelfußköpfchens fällt.
3. Die Größe der senkrechten Abstoßkraft und der horizontalen Schubkraft wurden als Kurven dargestellt: eine doppelgipflige Kurve für die Lotkraft (Abbildung 33) und eine sinusförmige Kurve für die Schubkraft (Abbildung 34).
4. Für einzelne Körperstellungen wurde die Höhe des Schwerpunktes von der Standfläche bestimmt. (Die Versuchsperson hatte eine Größe von 164 cm):

Im Stehen:	97,90 cm
Sitzen auf dem Stuhl:	78,64 cm
Rumpfbeuge:	67,20 cm
Knien:	57,30 cm
Hocken:	42,42 cm.

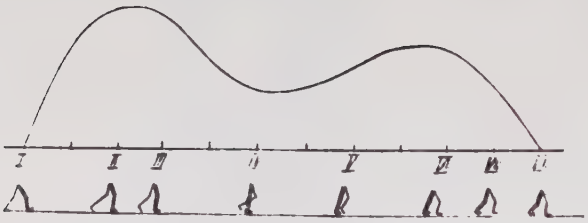


Abb. 33

Kurve der senkrechten Abstoßkraft.

(BASLER)

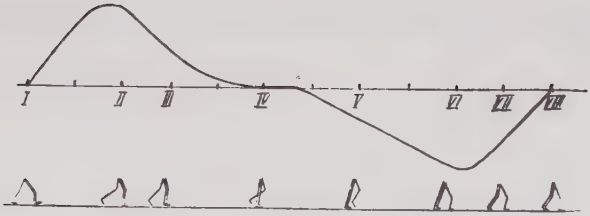


Abb. 34

Kurve der horizontalen Schubkraft.

(BASLER)

D I S K U S S I O N

In der Zeit, die an unsere Darstellung anschließt - also von 1931 bis 1969 - sind zahlreiche Untersuchungen über den menschlichen Gang durchgeführt worden. Ein wissenschaftlich begründetes, fundiertes Ergebnis liegt aber bis heute nicht vor. Das bedeutet, daß auch eine endgültige Beurteilung der Ergebnisse früherer Autoren nicht möglich ist. Wohl aber läßt sich die Frage beantworten, inwieweit die Autoren auf Grund ihrer Meßmethoden überhaupt in der Lage waren, zu richtigen Ergebnissen zu kommen.

Von ARISTOTELES (um 300 v.Chr.) bis POISSON (1833) - mit Ausnahme von BORELLI (1679) - beschränken sich die Autoren auf eine Beschreibung der Fortbewegung des Menschen auf Grund des Augenscheins. Einzelheiten - vor allem schnelle Bewegungsvorgänge - können dabei nicht erfaßt werden. Die Meinungen der früheren Autoren weichen dementsprechend erheblich voneinander ab.

ARISTOTELES (um 300 v.Chr.) erkennt, daß der sich bewegende Körper einen Widerstand braucht, um sich bewegen zu können. Auch beschreibt er schon - wie wir heute sagen würden - die undulierende Bewegungslinie des Kopfes. Im übrigen ist er ein Kind seiner Zeit und weiß noch nicht, daß die Muskelverkürzung die Körperbewegung erzeugt. Er ist der Auffassung, daß die Seele, die ihren Sitz im Herzen hat, die Sehnen anregt und diese den Knochen stoßen.

GALEN (um 150 n.Chr.) erkennt, daß der Wille über die Nerven und Muskeln die Bewegung der Knochen erzeugt. Er macht sich schon Gedanken über den unterschiedlichen Druck des Fußes auf den Boden beim Stehen und Gehen, indem er sagt, daß das tragende Bein beim Gehen mehr als das Doppelte des Gewichts trägt als im Stehen.

FABRICIUS (1618) meint, daß die Bewegung vom Geist im Herzen ausgeht und über die Aorta an die Muskeln und Knochen weitergeleitet wird. Er scheint zu dieser Vorstellung von ARISTOTELES angeregt worden zu sein. Er erkennt, daß die Bewegung beim Gehen eine räumliche Bewegung darstellt.

GASSENDI (1658) weist darauf hin, daß die Bewegung beim Gehen keine geradlinige Bewegung ist, sondern sich aus mehreren Kreisbögen zusammensetzt. Er erkennt, daß der Fuß durch sein Abrollen am Boden den Schritt verlängert. Er macht die Feststellung, daß das Bein sich doppelt so schnell bewegt, wie der Rumpf. Er meint zu Unrecht, daß die Beine beim Gehen genau abwechselnd den Boden berühren.

BORELLI (1679) stellt fest, daß das Gehen aus 2 Phasen besteht: einer Phase, in der beide Füße den Boden berühren und einer Phase, in der nur ein Fuß den Boden berührt. Seine geschichtliche Bedeutung besteht darin, daß er zum ersten Mal ein Experiment gemacht hat, um die Bewegungen des Körpers in seitlicher Richtung beim Gehen zu beweisen. Er hat ferner den Körperschwerpunkt des Menschen bestimmen können. Genau genommen ist durch seine Methode nur die Transversalebene des Körperschwer-

punktes festgelegt. BORELLI wendet auch schon das Gesetz an, daß der Körperschwerpunkt den Körper im umgekehrten Verhältnis seiner Massen teilt. Auch weiß er bereits, daß der Mensch umfällt, wenn die Schwerelinie außerhalb des Bereiches der Unterstützungsfläche des Fußes fällt.

HALLER (1762) gibt eine im wesentlichen richtige Beschreibung des Bewegungsablaufes der Beine.

BARTHEZ (1798) ist darin zuzustimmen, daß sich das hintere Bein durch einen Stoß vom Boden abhebt und nicht der Gegendruck des Bodens für das Abheben des Beines verantwortlich ist. Er irrt, wenn er sagt, daß die Schritte beim Gehen und Laufen gleich groß sind. Sie können es allerdings sein.

CHABRIER (1822) weist darauf hin, daß beim Gehen abwechselnd das Hüftgelenk und das Fußgelenk zum punctum fixum werden. Dann allerdings meint er, daß das hintere Bein den Körper nicht vom Boden abstößt, sondern der Körper durch das vordere Bein vorwärts gezogen wird. Wenn er sagt, daß beim Laufen ein Sprung auf einem Bein stattfindet, so meint er damit offensichtlich die Flugphase.

MAGENDIE (1825) kann man in etwa zustimmen, wenn er meint, daß sich die Schenkelköpfe in horizontalen Kreisbögen umeinander bewegen. Genauer handelt es sich dabei um Wellenbewegungen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten.

GERDY (1833) erkennt die dreidimensionale Bewegung des Körperschwerpunktes. Er setzt die Bewegungen der Schulter, des Beckens

und des Rumpfes in richtige Beziehung zur Beinbewegung. Er hebt deutlich hervor, daß das Laufen sich durch die Flugphase vom Gehen unterscheidet.

POISSON (1833) versucht zum ersten Mal die beim Gehen entstehende Arbeit durch eine Formel zu berechnen.

Mit den Brüdern WEBER (1836) beginnt eine ganz neue Phase der Untersuchung der menschlichen Fortbewegung. Sie führen - wenn auch mit einfachen Hilfsmitteln: Metermaß, Fernrohr und Tertienuhr - als erste Messungen durch und fassen ihre Ergebnisse in Zahlen. Sie erkennen, daß es wichtig ist, die Versuche an mehreren Personen durchzuführen. Mit Hilfe ihrer Zahlenergebnisse können sie genauere Angaben darüber machen, wie sich die einzelnen Gangphasen beim Gehen zeitlich zueinander verhalten. Sie können wesentlich genauer die Unterschiede zwischen Gehen und Laufen angeben, Sie erkennen, daß die Wellenlinie, die der Kopf beschreibt, beim Gehen und Laufen gegensinnig verläuft. Sie führen Messungen bei verschiedenen Ganggeschwindigkeiten durch. Sie kommen dabei zu der in ihren Grundzügen richtigen Erkenntnis, daß bei höherer Geschwindigkeit die Schrittdauer abnimmt und die Schrittlänge zunimmt. Die Tatsache, daß die Brüder WEBER als erste Messungen durchführen und damit die einzelnen Phasen des Gehens und Laufens vergleichen können, wird in der Literatur viel zu wenig gewürdigt. Es ist merkwürdig, daß sie gerade durch eine Theorie - die sich später als falsch erwies - so bekannt geworden sind. Ihre Hypothese, daß die Schwungphase eine durch die Schwerkraft erzeugte Pendelbewegung ist, stellt aber nur eine einzelne

falsche Schlußfolgerung im Rahmen einer für die damalige Zeit großartigen Leistung dar. Sie versuchen auch schon wie POISSON, die Gesetze des Gehens und Laufens in physikalische Formeln zu fassen.

Die Arbeiten von von MEYER (1853 - 1881) bedeuten - verglichen mit denen der Brüder WEBER - insofern einen Rückschritt, als er im Wesentlichen seine Ergebnisse auf bloße Betrachtungen mit den Augen stützt und keine eigenen Untersuchungen anstellt, jedenfalls nicht was den Gang des Menschen betrifft. Die von ihm vertretene Meinung, daß das Bein nicht erst beim Abheben vom Boden - wie die Brüder WEBER meinen - sondern schon kurz vorher gebeugt wird, ist richtig, aber nicht bedeutungsvoll. Diese Auffassung teilen FISCHER, MAREY und DEMENY. Von MEYER gibt eine Methode zur Bestimmung der Schwerelinie des Menschen an. Während BORELLI und die Brüder WEBER nur die Transversalebene des Körperschwerpunktes festlegen, bestimmt von MEYER den Körperschwerpunkt durch Konstruktion aus den Einzelschwerpunkten bei verschiedenen Stellungen des Körpers. Die Arbeiten von HARLESS waren von MEYER dabei bereits bekannt.

HARLESS (1857) macht keine Untersuchungen über das Gehen und Laufen. Seine Bedeutung liegt darin, eine Methode entwickelt zu haben, mit der es möglich ist, den Körperschwerpunkt aus den Einzelschwerpunkten zu berechnen und zu konstruieren.

Eine Beurteilung der wenigen Beobachtungen von GIRAUD-TEULON (1858) erübrigt sich.

DUCHENNE (1867) erkennt, daß ein vollkommen oder teilweise gelähmtes Bein die Schwungphase nicht richtig ausführen kann. Er widerlegt damit die Auffassung der Brüder WEBER, daß die Schwungphase des Beines eine reine Pendelbewegung ist.

CARLET (1872) findet als erster eine Methode die Einzelschrittdauer und die Einzelschrittlänge zu messen. Die Brüder WEBER haben lediglich die durchschnittliche Schrittlänge und Schrittdauer bestimmt. Es geht CARLET weniger darum Zahlenergebnisse zu erhalten, als vielmehr darum, den Zusammenhang der räumlichen und zeitlichen Größen der Stütz- und Schwungphase des Beines mit den Bahnkurven der Symphyse und des Trochanter major zu bestimmen. Die Messung dieser Bahnkurven in horizontaler und vertikaler Richtung wird von CARLET zum ersten Mal gemacht. Seine Untersuchungen beschränken sich dabei auf das Gehen. Eine Kritik wäre an seiner Methode insofern zu üben, als es fraglich ist, ob eine Kreisbahn von 20 m Umfang - also etwa 3,2 m Radius - eine natürliche Gehbewegung zuläßt.

MUYBRIDGE (1872 - 1885) findet eine neue Methode, mit Hilfe der Fotographie Phasenbilder von Körperbewegungen des Menschen und der Tiere herzustellen. Die ersten Phasenbilder zeigen ein galoppierendes Pferd. Später werden im großen Umfange Bewegungen des Menschen dargestellt. Eine Auswertung seiner Fotobilder gibt MUYBRIDGE nicht an. Seine historische Bedeutung liegt darin, daß er zum ersten Mal mit Hilfe der Fotographie Phasenbilder von Bewegungsabläufen herstellt.

Die Spritzmethode von VIERORDT (1881) bringt keine großen Fortschritte. Eine zeitliche Zuordnung der einzelnen Größen ist damit nicht möglich, da vom Ausspritzen der Flüssigkeit bis zu ihrem Aufkommen auf dem Papier ein zu großer Zeitraum vergeht. Die zeitliche Zuordnung der einzelnen Größen beim Gehen bestimmt er mit Hilfe von Spezialschuhen, mit denen er die Dauer von Einzelstützphase und Doppelstützphase jedes Einzelschrittes messen kann. Außerdem kann er damit das Aufsetzen von Ferse und Ballen getrennt registrieren. Er sagt, daß die Schritte der einzelnen Versuchspersonen sehr unterschiedlich sind und auch Unterschiede zwischen rechts und links bestehen. Dabei meint er, sind die linken Schritte meistens größer als die rechten.

MAREY's Bedeutung (1894) liegt vor allem darin, die Chronofotographie - eine heute noch verwendete Methode - eingeführt zu haben. Die Fotographie wird dabei zu räumlichen und zeitlichen Messungen herangezogen. Ihm ist es daher möglich, Bewegungsvorgänge, die dem Auge entgehen, exakt zu beschreiben. Die Auffassung der Brüder WEBER, daß mit zunehmender Schrittfrequenz die Schrittlänge zunimmt und die Schrittdauer abnimmt, korrigiert MAREY, indem er zeigt, daß dieses Gesetz nur bis zu einer Schrittfrequenz von etwa 75 Schritten/min Gültigkeit hat. MAREY führt zum ersten Mal Messungen der Abstoßkraft des Fußes mit Hilfe eines pneumatischen Dynamographen durch. Auf Grund gleichzeitiger Messungen von Sprunghöhe, Abstoßkraft des Fußes und Dauer der Abstoßkraft errechnet er, daß die Sprunghöhe beim Absprung proportional dem Quadrat des Impulses ist. Wie vor ihm schon POISSON versucht er die Arbeit, die beim Gehen und Laufen entsteht, zu berechnen.

RICHER (1894) gibt keine eigenen Meßmethoden an. Er benutzt Fotographien von LONDE. RICHER gibt eine im wesentlichen richtige Beschreibung der Bewegungsvorgänge beim Gehen und Laufen. Sie bringt jedoch keine neuen Erkenntnisse.

BRAUNE und FISCHER (1895) und später FISCHER (1899-1904) haben eine vorher noch nicht dagewesene große Zahl von 6696 Meßdaten für ihre Berechnungen verwertet. Aus drei Gehversuchen einer Versuchsperson wird je ein Doppelschritt ausgewertet. Diese geringe Zahl von nur drei Doppelschritten schränkt die Bedeutung ihrer Ergebnisse wesentlich ein. Zahlenergebnisse können nur individuellen und nicht allgemeinen Wert haben. Ein Großversuch mit 103 Soldaten und 8 Studenten über 1000 m-Gehstrecke dient nur zur Bestimmung der Länge und Frequenz des sogenannten Wanderschrittes. FISCHER will damit die geringe Zahl der Versuche rechtfertigen. Hierin liegt ein wesentlicher Punkt der Kritik an FISCHER.
Die chronofotographische Methode wird zwar schon von MAREY verwandt, er hat aber keine axakten Auswertungen durchgeführt. FISCHER vervollkommnet diese Methode. Die Aufnahmen werden von 4 in verschiedenen Richtungen aufgestellten Apparaten aufgenommen und damit genaue räumliche Beziehungen hergestellt.
So ist es FISCHER möglich, eine exakte Analyse der einzelnen Faktoren des Ganges durchzuführen. Er kann eine genaue Beschreibung des Bewegungsablaufes der Glieder und des Rumpfes geben durch Bestimmung der Winkel und der Wege. Er berechnet die Winkelgeschwindigkeiten und Winkelbeschleunigungen. Er führt die Berechnung der Drehmomente der Schwerkraft und der

Muskelkräfte durch. Er entwickelt Methoden zur Bestimmung des Körperschwerpunktes. BORELLI, HARLESS und von MEYER kannten zwar schon die Methode der Schwerpunktsbestimmung in ihren Grundzügen. FISCHER aber legte fest, wie man aus den Einzelschwerpunkten den Körperschwerpunkt beim lebenden Menschen bestimmen kann. Neu ist seine Methode der Bestimmung des Körperschwerpunktes aus den Hauptpunkten und Hauptstrecken. Sie wird noch heute angewandt. Er benutzt für seine Messung der Einzelschwerpunkte drei gefrorene Leichen. Die Zahl seiner Versuchspersonen reicht auch hier selbstverständlich nicht aus, um zu einem allgemeingültigen Urteil zu kommen.
Er bestimmt die Bahnen der Einzelschwerpunkte der Glieder und des Körperschwerpunktes beim Gehen. Aus heutiger Sicht kann man sagen, daß die Ableitung von Beschleunigungen und damit Kräften aus Wegkurven auf Grund der GAUSS'schen Fehlerfortpflanzung nicht zulässig ist. Die historische Bedeutung von FISCHER liegt nicht nur in der chronofotographischen Darstellung der Körperbewegung des Menschen, sondern vor allem darin als erster eine ausführliche mathematisch-physikalische Analyse der Meßdaten des Ganges des Menschen durchgeführt zu haben.

Eine Beurteilung von LEITENSTORFER (1897) erübrigt sich. Er wird nur wegen seiner Methode der Registrierung der Kopfbewegung im Stand erwähnt. Eigene Untersuchungen über das Gehen und Laufen wurden von ihm nicht gemacht.

Wegen der Entwicklung einer Waage zur Schwerpunktsbestimmung ist DU BOIS-REYMOND (1900) zu erwähnen.

JENDRASSIK (1901-1906) kann man die Priorotät zusprechen, als erster Untersuchungen mit einer Filmkamera durchgeführt zu haben. Es werden von ihm keine neuen Ergebnisse gebracht. Insbesondere wird keine physikalische Analyse der Filmbilder ausgeführt.

DEMENY (1905) - Schüler von MAREY - verwendet ebenfalls die Chronofotographie. Er entwickelt eine Methode zur Bestimmung des Körperschwerpunktes mit Hilfe eines Pendels. Er benutzt eine Apparatur, um die Dauer der Fersenstützphase und der Ballenstützphase getrennt zu bestimmen. CARLET hat das schon vor ihm mit seinem pneumatischen Dynamometer gemacht. Außer bei einem Großversuch mit 250 Infanteristen gibt DEMENY die Zahl seiner Versuchspersonen nicht an. Von seinen Untersuchungen ist besonders hervorzuheben, daß er die Relativbewegung des Beines zum Rumpf und die Relativbewegung des Oberschenkels zum Unterschenkel darstellt. Ähnlich wie MAREY berechnet auch DEMENY die beim Gehen und Laufen entstehende Arbeit.

LOWETT und REYNOLDS (1910) bestimmen die Schwerelinie des Körpers mit Hilfe einer Schwerpunktswaage.

Geräte, die BASLER (1929-1931) - Schwerpunktswaage, Schwerpunktspendel, Gerät zur Messung der Druckverteilung der Fußsohle - entwickelt, besitzen Originalität, sind aber heute nur mehr von historischem Interesse. Zudem werden seine Versuche im Wesentlichen an einer Versuchsperson durchgeführt.

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit stellt den Versuch dar, die Untersuchungen über den Gang des Menschen von ARISTOTELES (um 300 v.Chr.) bis zur Jahrhundertwende in chronologischer Folge darzustellen. Historisch verständlich hat man zunächst damit begonnen vereinzelte Gedanken zu äußern (bis 1618). Ab 1658 erst versuchte man zu klareren Vorstellungen über die menschliche Körperbewegung zu kommen. Die Brüder WEBER haben dann im Jahre 1836 zum ersten Mal auf Grund von Messungen mit Meßband und Uhr eine übertreffliche Darstellung der " Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge " gegeben. Weiterführende Untersuchungen waren offensichtlich nur mit Hilfe anderer, neuerer, besserer Meßgeräte möglich. MUYBRIDGE (1882) und in viel größerem Umfange MAREY (1894) haben die schon im Jahre 1839 von DAGUERRE geschaffene Fotographie zur Registrierung und Analysierung der Körperbewegung des Menschen und der Tiere herangezogen. FISCHER (1895) hat dann die erste exakte physikalische Ganganalyse mit der Chronofotographie, einem Vorläufer der Kinematographie, durchgeführt. Die Aussagekraft der Untersuchungen mußte in Anbetracht der ungenügenden Zahl von Versuchspersonen von vorneherein beschränkt bleiben. Offensichtlich werden Art und Grad der biomechanischen Analyse der menschlichen Körperbewegung vom jeweiligen Entwicklungsstand der Wissenschaft und der Technik bestimmt. Diese geben uns heute mit neuen Untersuchungsmethoden, modernen miniaturisierten, elektronischen, telemetrischen Meßgeräten und neueren mathematischen Rechenverfahren, bisher ungekannte Möglichkeiten einer exakten und quantitativen Analyse, auch des Ganges des Menschen, in die Hand.

B i o g r a p h i s c h e H i n w e i s e :

ARISTOTELES (384 bis 323 v.Chr.)
Griechischer Arzt und Philosoph

BARTHEZ, Paul-Joseph (1734 bis 1806)
Französischer Arzt und Professor der Medizin

BASLER, Adolf (1878 bis ?)
Professor der Physiologie in Canton (China)

BORELLI, Alfonso (1608 bis 1679)
Italienischer Arzt und Professor der Mathematik

DU BOIS-REYMOND, R. (1863 bis ?)
Berliner Physiologe

DUCHENNE, G.B. (1806 bis 1875)
Arzt. Untersuchte die Muskelaktion des Menschen durch elektrische Reizung

FABRICIUS, Hyronymus ab Aquapendente (1537 bis 1619)
Italienischer Arzt und Anatom

FISCHER, Otto (1861 bis 1916)
Habilitation an der Leipziger philosophischen Fakultät für physiologische Physik. Später erfolgte die Ernennung zum Professor der medizinischen Fakultät

GALEN (129 n.Chr. bis etwa 200 n.Chr.)
Arzt und Schriftsteller des Altertums

GASSENDI, Petrus (1529 bis 1655)
aus der Provence stammender Physiker

GERDY, Pierre-Nicolas (1797 bis 1856)
Anatom, Physiologe und Chirurg in Paris

GIRAUD-TEULON, Marc-Antoine-Louis-Felix (1816 bis 1887)
Pariser Mediziner

HALLER, Albrecht von (1708 bis 1777)
Arzt, Professor der Anatomie, Chirurgie und Botanik in der Schweiz und in Göttingen

HARLESS, Emil (1820 bis 1862)
Professor der Physiologie in München

JENDRASSIK, Ernst (1858 bis 1921)
Professor für Neuropathologie in Budapest

MAGENDIE, Francois (1783 bis 1855)
Französischer Experimentalphysiologe

MAREY, Etienne-Jules (1830 bis 1904)
Professor der Physiologie in Paris

MEYER, Georg Hermann von (1815 bis 1892)
Professor für pathologisch-chirurgische Anatomié in Zürich

POISSON, Siméon-Denis (1781 bis 1840)
Französischer Mathematiker

ROULIN, Francois-Désiré (1796 bis 1874)
Französischer Naturforscher

WEBER, Eduard Friedrich Wilhelm (1806 bis 1871)
Professor für Anatomie in Leipzig

WEBER, Wilhelm Eduard (1804 bis 1891)
Professor für Physik in Göttingen und Leipzig

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

1. ARISTOTELES — De motu et de incessu animalium.
The works of Aristotle.
Clarendon Press, Oxford, 1912.
Reproduktion 1949.

2. BARTHEZ, P.J. — Nouvelle mécanique des mouvements de l'homme et des animaux.
Baillière, Carcasonne, 1798.

3. BASLER, A. — Das Gehen.
Abh.Mediz.Fakultät Sun-Yatsen-Universität, Canton. I.2, 1-272, 1929.

4. BASLER, A. — Über die gewöhnliche Schrittlänge und Geschwindigkeit bei einigen Formen des Gehens.
Arbeitsphysiol. Berlin.
I, 271-277, 1929.

5. BASLER, A. — Der Schwerpunkt des lebenden Menschen.
Abh.Mediz.Fakultät Sun-Yatsen-Universität, Canton. II.2, 125-226, 1931.

6. BORELLI, A. — De motu animalium, 1679.
Oswald's Klassiker der exakten Wissenschaften
Akad.Verlagsges.Leipzig, 1927.
u.zit.n.WEBER (Nr.49) u.n.v.MEYER (Nr.38).

7. BRAUNE, W.u. FISCHER, O. — Der Gang des Menschen. I.Teil.
Abh.math.-phys.Kl.kgl.-sächs.Wiss, Leipzig.
XXI.4, 151-322, 1895.

8. CARLET, G. — Essai experimental sur la locomotion humaine.
Annales des sciences naturelles,Paris.
XVI.5, 1-92, 1872.

9. CHABRIER, J. — Essai sur le vol des insectes et observations sur quelques parties de la mécanique des mouvements progressifs de l'homme et des animaux vertébrés.
Bélin, Paris, 1822.

10. DEMENY, G. — Mécanisme et éducation des mouvements.
F.Alcan, Paris, 1905.

11. DU BOIS-REYMOND,R. — Die Grenzen der Unterstützungsfläche beim Stehen.
Arch.Anat.u.Physiol.(Physiol.Abt.),Leipzig, 562-564, 1900.

12. DU BOIS-REYMOND,R. Spezielle Bewegungslehre mit Überblick über die Physiologie der Gelenke. Handbuch der Physiologie des Menschen, Braunschweig, 1909.

13. DUCHENNE, G.B. Physiologie der Bewegungen, 1867. Fischer, Kassel und Berlin, 1885.

14. FABRICIUS, H. De motu locali animalium, 1618. Tractatus de respiratione etc. Sumptibus A. Meglietti, Batavii, 1625.

15. FISCHER, O. Der Gang des Menschen. II.Teil. Abh.math.-phys.Kl.kgl.-sächs.Wiss.,Leipzig. XXV.1, 1-130, 1899.

16. FISCHER, O. Der Gang des Menschen. III.Teil. Abh.math.-phys.Kl.kgl.-sächs.Wiss.,Leipzig. XXVI.3, 1-170, 1900/1901.

17. FISCHER, O. Der Gang des Menschen. IV.Teil. Abh.math.-phys.Kl.kgl.-sächs.Wiss.,Leipzig. XXVI.7, 471-556, 1900/1901.

18. FISCHER, O. Der Gang des Menschen. V.Teil. Abh.math.-phys.Kl.kgl.sächs.Wiss.,Leipzig. XXVIII.5, 319-418, 1904.

19. FISCHER, O. Der Gang des Menschen. VI.Teil. Abh.math.-phys.Kl.kgl.-sächs.Wiss.,Leipzig. XXVIII.7, 529-619, 1904.

20. FUCHS, R. Der Gang des Menschen. Biol.Zbl.Berlin. XXI.711-735, 1901.

21. GALEN, De usu partium. zit.n.GERDY (Nr.23).

22. GASSENDI, P. De vi motrice et motionibus animalium. Opera omnia, Lyon. II.11, 1658. Reprod.Fr.Fromm-Verl.G.Holzboog, Stuttgart-Bad Cannstatt, 1964.

23. GERDY, P.N. Physiologie médicale didactique et critique. Roret, Paris, 1833.

24. GIRAUD-TEULON, F. Principes de mécanique animale. Ballière, Paris, 1858.

25. HALLER, A.v. Elementa physiologiae. Lausanne, IV.11, 1762.

26. HARLESS, E. — Die statischen Momente der menschlichen Gliedmaßen. Abh.math.-phys.Kl.kgl.-bayr.Akad.Wiss,München. VIII.1, 69-96 u.257-294, 1857.

27. JENDRASSIK, E. — Klinische Beiträge zum Studium der normalen und pathologischen Gangart. Arch.klin.Med.,Leipzig. LXX.81-132, 1901.

28. JENDRASSIK, E. — Weitere Beiträge zur Lehre vom Gehen. Arch.Anat.u.Physiol.Leipzig. Erg.Bd.,287-322, 1904.

29. JENDRASSIK, E. — Dritter Beitrag zur Lehre vom Gehen. Arch.Anat.u.Physiol.Abt.II,Leipzig. 187-204, 1906.

30. LEITENSTORFER, — Das militärische Training. F.Enke, Stuttgart, 1897.

31. LONDE, A. — Photographie médicale. Gauthier-Villars, Paris, 1893.

32. LOWETT, R.W. u. REYNOLDS, E. — Der Schwerpunkt des Körpers. Seine Lage in Bezug auf gewisse Knochenpunkte und seine Beziehungen zum Rückenschmerz. Zft.orth.Chir.,Stuttgart. XXVI, 579-617, 1910.

33. MAGENDIE, F. — Précis élémentaire de physiologie. Bd.I. Méquignon-Marvis, Paris, 1825.

34. MAREY, E.J. — Le mouvement. Masson, Paris, 1894.

35. MEYER, H. — Das aufrechte Stehen. Arch.Anat.u.Physiol.u.wiss.Med.,Leipzig. 9-44, 1853.

36. MEYER, H. — Das aufrechte Gehen. Arch.Anat.u.Physiol.u.wiss.Med.,Leipzig. 365-396, 1853.

37. MEYER, H. — Die Individualitäten des aufrechten Ganges. Arch.Anat.u.Physiol.u.wiss.Med.,Leipzig. 548-573, 1853.

38. MEYER, H. — Die wechselnde Lage des Schwerpunktes in dem menschlichen Körper. W.Engelmann, Leipzig, 1863.

39. MEYER, H. — Über die Kniebeugung in dem abstoßenden Beine und über die Pendelung des schwingenden Beines im gewöhnlichen Gange. Arch.Anat.u.Physiol.u.wiss.Med.,Leipzig. 1-29, 1869.

40. MEYER, H. — Die Statik und Mechanik des menschlichen Knochengerüsts. W.Engelmann, Leipzig, 1873.

41. MEYER, H.v. — Die richtige Gestalt des menschlichen Körpers in ihrer Erhaltung und Ausbildung für das allgemeine Verständnis. Meyer u.Zeller, Stuttgart, 1874.

42. MEYER, H.v. — Die Mechanik des menschlichen Ganges. Biol.Zbl.Erlangen. I. 401-408, 1881.

43. MUYBRIDGE, E. — The human figure in motion. Chapman a.Hall, London, 1901.

44. POISSON, S.D. — Traité de mécanique. Bd.II. Bachelier, Paris, 1833.

45. RICHER, P. — La station et la marche chez l'homme sain et chez les malades myopathiques. Revue scientifique, 129-141, 1894.

46. RICHER, P. — Physiologie artistique de l'homme en mouvement. Doin, Paris, 1895.

47. ROULIN, F. — Recherches théoriques et expérimentales sur le mécanisme des attitudes et des mouvements de l'homme. Journ.Physiol.exper., Paris. I. 209-236 u.301-332, 1821.

48. VIERORDT, H. — Das Gehen des Menschen in gesunden und kranken Zuständen. Laupp, Tübingen, 1881.

49. WEBER, W.u.E. — Die Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge. Dieterich, Göttingen, 1836.

Herrn Prof.Dr.med. H.G r o h danke ich für die Überlassung des Themas und die Unterstützung, die er mir zuteil werden ließ.
Herrn Bibliotheks-Oberrat Dr.phil.O.V i n z e n t danke ich für die Hilfe bei der Beschaffung der Literatur und Herrn Diplom-Physiker W. B a u m a n n für die Hilfe auf physikalischem Gebiet.

L e b e n s l a u f

Am 3. November 1938 wurde ich als Tochter des Rechtsanwaltes Dr. Karl-Dietrich Schott und seiner Ehefrau Gertrud, geb. Hildebrandt, in Kassel geboren.
Seit 1963 bin ich mit dem Arzt Dr.Peter Groh verheiratet und habe 2 Kinder.
Nach 4 1/2 Jahren Volkschule in Gieselwerder und Kassel besuchte ich die Heinrich-Schütz-Schule in Kassel und legte dort am 6.3.1958 die Reifeprüfung ab.
Für das beabsichtigte Architekturstudium machte ich ein fünfmonatiges Praktikum in einer Schreinerei. Danach war ich ein halbes Jahr als Haustochter in Grenoble/Frankreich.
Ich studierte Medizin an den Universitäten Marburg/Lahn, Innsbruck und in Homburg/Saar. Am 12.7.1965 bestand ich an der Universität des Saarlandes die ärztliche Prüfung.
Während der folgenden 3 Jahre versorgte ich den Haushalt.
Seit 1.8.1968 absolviere ich meine Medizinalassistentenzeit am Hygienischen Institut, der Frauenklinik und der II. Medizinischen Klinik der Universität des Saarlandes in Homburg.

Homburg, im Juni 1969

BAMBERGER FOTODRUCK · RUDOLF RODENBUSCH
8600 BAMBERG · Markusplatz 22 · Tel.: 09 51/6 27 94